

Música por computadora

Ernesto Romero y Hernani Villaseñor
Centro Multimedia 2012

Sesión 9

Teoría del sonido

Sonido, Frecuencia, Amplitud, Periodo, Velocidad, Longitud de onda, Fase, Armónicos/Timbre, Envolvente.

Sonido

El sonido es la perturbación de las moléculas del aire cuando un objeto o cuerpo entra en vibración. Esta vibración es cíclica y está formada por una frecuencia y una amplitud. El sonido viaja por el aire y al llegar a nuestros oídos hace vibrar al tímpano el cual está conectado a una serie de huesitos que transmiten esta vibración al caracol, el cual contiene un líquido donde unas pequeñas vellosidades llamadas cilios convierten esta información en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados por nuestro cerebro. El entorno afecta el comportamiento del sonido, es decir, su comportamiento es diferente cuando el sonido se produce al aire libre que cuando se produce dentro de un recinto.

Frecuencia

Son los ciclos por segundo que contiene la vibración del sonido, se mide en Hertz. A frecuencias más altas sonidos más agudos y viceversa. El oído humano puede escuchar de 20 Hz a 20,000 Hz.

```
{SinOsc.ar(Line.kr(20,20000,20),0,0.5)}.play
```

Amplitud

Es la fuerza con la que oscila el sonido, se mide en decibeles. Los límites a los que puede someterse el oído humano sin sufrir daño son 120 dB considerado como umbral de la sensación. Una conversación a un metro de distancia llega a tener una amplitud de 70 dB aproximadamente. En SuperCollider la amplitud está normalizada por lo que ocurre en valores de 0 mínimo a 1 máximo.

El tercer argumento de SinOsc se llama multiplicador y tiene el efecto de incrementar el volumen o amplitud de nuestro sonido, es este caso valores que van de 0 a 1, valor de amplitud normalizada.

```
// amplitud máxima sin distorsión
{SinOsc.ar(440,0,1)}.play

// amplitud intermedia
{SinOsc.ar(440,0,0.5)}.play

// amplitud mínima
{SinOsc.ar(440,0,0)}.play
```

Velocidad

La velocidad del sonido es de 344 metros/segundo a una temperatura de 21 grados centígrados. Se suma 0.6 m/s por cada grado que sube la temperatura o se resta en caso de que baje.

$V = 344 \text{ m/s @ } 21 \text{ grados centígrados } \pm 0.6$

Ejemplo

Cálculo de la velocidad del sonido a 0 grados centígrados.

```
// primero multiplicamos 0.6 por cada grado centígrado que baja
la temperatura a partir de nuestra referencia de 21 grados
0.6 * 21
12.6

// el resultado se lo restamos a 344
344 - 12.6
331.4
```

331.4 metros/segundo es la velocidad del sonido a 0 grados centígrados. Intenta calcular la velocidad del sonido a 30 grados centígrados.

Longitud de Onda

Es la longitud de un ciclo de sonido expresado en metros y se calcula con la siguiente fórmula:

$$L = V/F$$

L = longitud de onda
V = velocidad del sonido
F = frecuencia

Ejemplo

Calcular la longitud de onda de 500 Hz a 21 grados C.

```
// usando la fórmula  $L=V/F$ , sustituimos los datos  
344 / 500
```

```
// el resultado es 0.688 metros  
0.688
```

Periodo

El periodo es el tiempo que dura un ciclo de una frecuencia en desenvolverse, se expresa por la letra T. Para calcular el periodo se usa la siguiente fórmula:

$$T=1/F$$

T= periodo en segundos
F= frecuencia en Hz

Fase

La fase nos indica en que momento comienza a desarrollarse la onda. Para entender el fenómeno podemos usar una onda sinoidal y medirla en grados, 0 es el inicio, 90 el punto más alto 180 la mitad y 270 el punto más bajo.

El fenómeno de la fase se puede oír cuando sumamos dos ondas sinoidales, si una onda comienza en 0 y otra en 180, se encuentran desfasadas 180 grados, esto anula la fuerza de ambas y si tienen la misma amplitud no sonará nada.

En algunos objetos de SuperCollider la fase se mide en radianes. Aquí una tabla de conversión entre grados y radianes:

grados	radianes
0	0
90	$\pi/2$
180	π
270	$3\pi/2$
360	2π

```
// la onda empieza en 0 grados. Es decir 0 radianes
{SinOsc.ar(100,0,1)}.plot

// la onda empieza en 90 grados. Es decir pi/2 radianes
{SinOsc.ar(100,pi/2,1)}.plot

// la onda empieza en 180 grados. Es decir pi radianes
{SinOsc.ar(100,pi,1)}.plot

// la onda empieza en 270 grados. Es decir 3pi/2 radianes
{SinOsc.ar(100,3pi/2,1)}.plot

// la onda empieza en 360 grados. Es decir 2pi radianes
{SinOsc.ar(100,2pi,1)}.plot

// si sumamos dos ondas con 180 grados de desfase se cancelan
{SinOsc.ar(100,0,1) + SinOsc.ar(100,pi,1)}.plot
```

Armónicos

Los armónicos son frecuencias múltiplos de una frecuencia fundamental. Podemos nombrarlos como fundamental, armónicos nones y armónicos pares. La fundamental es la primer frecuencia de la serie de armónicos y es la frecuencia que suena con mayor intensidad.

Tomemos como frecuencia fundamental 100 y agreguemos sus primeros 9 armónicos:

```
f * 1 = 100 // fundamental
f * 2 = 200 // segundo armónico
f * 3 = 300 // tercer armónico
f * 4 = 400 // cuarto armónico
f * 5 = 500 // quinto armónico
f * 6 = 600 // sexto armónico
f * 7 = 700 // séptimo armónico
f * 8 = 800 // octavo armónico
f * 9 = 900 // noveno armónico
```

Ejemplo

```
// serie de 9 armónicos
{var arm=9; Mix.fill(arm, {|i| SinOsc.ar((100 * (i+1))).postln, 0,
1/arm)}}.play
```

```
// armónicos pares de la misma serie
{var arm=4; Mix.fill(arm, {|i| SinOsc.ar((100 *
((i+1)*2)).postln, 0, 1/arm)}) + SinOsc.ar(100,0,0.1)}.play

// armónicos nones de la misma serie
{var arm=9; Mix.fill(arm, {|i| SinOsc.ar((100 * ((i+1)*2)
-1)).postln, 0, 1/arm)})}.play

s.scope
```

Timbre

El timbre es el sonido característico de un instrumento musical y esta determinado por la relación de sus armónicos. Es una cualidad compleja del sonido que nos permite, por ejemplo, distinguir que la misma nota es ejecutada en instrumentos distintos.

Envolvente

El envolvente de un sonido es el desarrollo de la amplitud en el tiempo. El envolvente de uso más generalizado es la envolvente de tipo ADSR. Esta envolvente pasa por los puntos *Attack*, *Decay*, *Sustain*, *Release* (Ataque, Decaimiento, Sostenimiento y Relajamiento).

Cada sonido presenta un envolvente único y no está necesariamente conformado por estos cuatro pasos, por ejemplo un sonido de percusión contiene dos pasos definidos: ataque y decaimiento.

EnvGen.kr y Env

En SC tenemos el objeto `EnvGen.kr` para generar el envolvente que deseamos usar. `Env` es el objeto que define el envolvente. Los envolventes se pueden dividir en envolventes de duración fija, donde un *gate* funciona como disparo; y envolventes sostenidos donde el envolvente se queda abierto hasta que *gate* vale 0.

Envolventes de duración fija

`Env.new ([niveles], [tiempos], curve)`

4 niveles, 3 tiempos, etc.. Las curvas pueden ser 'exponential', 'linear', 'sine', 'welch', 'step', Estas curvas determinan el tipo de pendiente del envolvente.

```
Env.new([0,1,1,0], [1,1,1], 'linear').test.plot
```

Env.linen(at, st, rt, nivel, curve)

Las curvas pueden ser como en el caso del Env.new

```
Env.linen(0.5,1,1,1,'welch').test.plot
```

Env.triangle(duración, nivel)

Es una envolvente en forma de triángulo.

```
Env.triangle(2,1).test.plot
```

Env.sine(duración, nivel)

Es una envolvente en forma circular o senoide.

```
Env.sine(1,1).test.plot
```

Env.perc(at, rt, nivel, curva)

Envolvente percusiva. En este caso la curva se refiere a la curvatura del envolvente, se expresa con números, prueba con varios en valores entre 4 y -4. Los valores positivos te darán una curvatura en reversa.

```
Env.perc(0.5,1,1,-1).test.plot
```

Envolventes sostenidos

Env.adsr (at, dt, sL, rt, pL, curva)

Este es el envolvente con el que normalmente se ejemplifica el fenómeno, notar que la curva puede expresarse en número o en los tags antes mencionados ('linear' etc..)

```
Env.adsr(0.2, 0.5, 0.5, 0.5, 1, -4).test.plot
```

Env.dadsr (delayT, at, dt, sl, rt, pL, curva)

Es igual que el anterior pero tiene un tiempo de delay al inicio, que normalmente es de 0.1

```
Env.dadsr(0.1,0.2, 0.5, 0.5, 0.5, 1, -4).test.plot
```

Env.asr (tiempo de ataque, nivel de sostenimiento, tiempo de relajamiento, curva)

```
Env.asr(0.5,1,1,-1).test.plot
```

Env.cutoff (tiempo de relajamiento, nivel, curva)

```
Env.cutoff(0.5,1,1).plot
```

Ejemplo de envolvente de duración abierta con adsr.

```
(
SynthDef(\envolvente, {|gate=1|
    var sig, env;
    sig=Pulse.ar(40);
    env=EnvGen.kr(Env.adsr(0.01,1,0.5,2),gate,doneAction:2);
    Out.ar(0,sig*env);
    }).send(s);
)

~envolvente=Synth(\envolvente)
~envolvente.set(\gate, 0)
```

Es necesario crear un argumento *gate* para poder abrir y cerrar el envolvente. Inicializamos *gate = 1* para que el envolvente abra inmediatamente que disparemos el synth. Enviamos el valor 0 al *gate* para cerrar el envolvente.

Se pueden usar envolventes para otras cosas aparte de la amplitud, como las frecuencias:

```
(
SynthDef(\envolvente, {|gate=1, arrayFreq=#[136.91134813639,
202.81123520967, 65.394989722475, 132.95621819661,
62.525500970093, 127.88861670575, 65.360868138958,
70.935648492864, 50.681074552298, 75.824601465534,
98.656687077899, 157.24500577093, 175.45642644699,
105.33968122787, 40.347150207583, 81.445376707312,
32.552185955962, 43.582164642573, 38.873095084923,
116.28469356642 ], arrayTiempos=#[ 1.0105085394288,
1.9728531571695, 1.5922585011823, 1.1866095668553,
2.3625114103724, 2.4987886147012, 0.89903059583291,
0.99887201423248, 2.2075978419634, 1.166383247018,
1.4351805643996, 2.4908415530114, 1.0988777081828,
1.5792846388545, 2.9589556934781, 0.55861861034951,
1.0624474655186, 1.3681685701116, 1.3537558879009 ]|
)

var sig, env, freq;
freq=EnvGen.kr(Env.new(arrayFreq,arrayTiempos));
sig=Pulse.ar(freq);
env=EnvGen.kr(Env.asr(1,1,1),gate,doneAction:2);
```

```

        Out.ar(0, sig*env);
    }) .send(s);
)

~freqs=Array.exprand(20,30,300) + 1000;

~temps=Array.exprand(19,0.5,3);

~envolvente1=Synth(\envolvente, [\arrayFreq,
~freqs,\arrayTiempos, ~temps]);

~envolvente2=Synth(\envolvente, [\arrayFreq,
~freqs.scramble,\arrayTiempos, ~temps.scramble]);

~envolvente3=Synth(\envolvente, [\arrayFreq,
~freqs.scramble,\arrayTiempos, ~temps.scramble]);

~envolvente1.set(\gate, 0);
~envolvente2.set(\gate, 0);
~envolvente3.set(\gate, 0);

```

Percepción del sonido

Este tema es parte de la psicoacústica, ciencia que estudia los fenómenos de percepción del sonido y las sensaciones psicológicas de la audición.

El sonido se puede estudiar en dos campos, uno físico o cuantificable y otro psicológico o cualitativo, el primero basado en medidas exactas del sonido en un medio físico y el segundo en experiencias subjetivas.

Lo primero que veremos es la altura y la sonoridad, dos cualidades subjetivas de percepción sonora que responden a un estímulo físico.

Altura tonal

Es la respuesta al estímulo físico donde percibimos un cambio de tono, determina que un sonido es más agudo o más grave, depende en primer lugar de la frecuencia del estímulo pero también de su intensidad.

Sonoridad

Es la respuesta al estímulo físico donde percibimos un cambio de intensidad, determina que un sonido es más fuerte o más quedo, depende en primer lugar de la intensidad del estímulo pero también de la frecuencia.

Es preciso mencionar que las experiencias subjetivas no tienen una relación directa con los fenómenos físicos sonoros. Mucho tiempo se creyó que la sonoridad era una respuesta equivalente a la amplitud, así como la altura tonal de la frecuencia.

Percepción del espacio

Uno de los atributos tonales es la ubicación percibida de un sonido, o sea de donde parece provenir. El hecho de tener dos oídos nos permite localizar la ubicación de una fuente sonora a partir de la diferencia de tiempo de arribo y la diferencia de intensidad. Además, la parte externa del oído llamada pinna sirve para codificar el sonido que llega de arriba y de abajo y ayuda a diferenciar sonidos que llegan de atrás y adelante.

La técnica de detectar la ubicación del sonido se llama localización binaural. La barrera de la cabeza acentúa la diferencia de intensidad entre los dos oídos.

Diferencia de tiempo de arribo: es un método que usamos al escuchar para determinar de dónde viene el sonido, haciendo una comparación entre el tiempo que tarda en llegar un sonido al oído derecho y al oído izquierdo. Es decir, si un sonido está más cerca del oído derecho, este llegará primero a él.

Diferencia de intensidad: Aunado a lo anterior el oído también es sensible a la diferencia de volumen que capta cada oído para determinar su ubicación, en este caso, si algo suena más cerca del oído derecho, lo escucharemos con mayor fuerza y con menor fuerza en el izquierdo.

Reflexión

El sonido viaja a través del aire y cuando encuentra un obstáculo en su camino se refleja, posteriormente sigue viajando hasta que encuentra otro obstáculo y vuelve a reflejarse, así sucesivamente hasta que pierde fuerza y desaparece.

El sonido se refleja de manera distinta según la textura y forma de cada superficie. Una superficie lisa refleja el sonido igual a su ángulo de incidencia, una superficie cóncava focaliza el sonido a un punto, mientras que una convexa lo esparce.

Absorción

Al momento que un sonido se refleja en una superficie, una proporción es absorbida, esto se manifiesta en una conversión de energía acústica en calor, así, el sonido cada vez que rebota en una superficie va perdiendo fuerza debido a la propiedad de absorción de los materiales.

Cada material tiene un coeficiente de absorción distinto, que es un número que indica la capacidad del material para absorber sonido, este coeficiente se mide en diferentes rangos de frecuencia, es decir, el sonido se absorbe de manera distinta a lo largo de su rango de frecuencia. Así, hay materiales que absorben rápidamente los agudos, mientras que los graves casi no, o hay materiales que absorben poco sonido mientras que otros absorben mucho.

Reverberación

La reverberación no es otra cosa que múltiples reflexiones del sonido dentro de un espacio cerrado, ya que una de las propiedades del sonido es la de reflejarse en una superficie. Las reflexiones se comportarán de manera distinta dependiendo del material y medidas de cada lugar, el cerebro es capaz de entender esta información lo que nos ayuda a entender en que espacio estamos situados y donde se encuentra ubicada una fuente sonora.

La manera electrónica de simular estas reflexiones es mediante la repetición de fragmentos de sonido que después son sumados a la señal original, logrando una sensación de que el sonido está en un espacio específico. Esto también sucede de manera natural, cuando nosotros grabamos un sonido, por ejemplo, en un espacio grande con paredes muy duras y reflejantes como puede ser una iglesia, las reflexiones son captadas junto con el sonido original y esto es lo que hace que un instrumento o una voz suene diferente en un espacio grande o en uno pequeño; en uno abierto o en uno cerrado.

Las reflexiones del sonido también nos dan información de los materiales del lugar donde está sonando la fuente sonora, por ejemplo un cuarto de madera suena distinto a un cuarto de piedra.

El sonido que sale de una fuente sonora sin tener contacto con alguna superficie es el sonido directo, los primeros rebotes dentro de un espacio se llaman reflexiones tempranas, estas reflexiones se suman a otras hasta tener un sonido denso en reflexiones el cual desaparecerá en un tiempo determinado, a esta densidad de reflexiones sumadas se le llama reverberación y al tiempo que tarda en desaparecer se le llama tiempo de reverberación.

En SC existen tres UGens para simular Reverberación: FreeVerb, FreeVerb2, GVerb.

FreeVerb.ar (in, mix, room, damp, mul, add)

in: señal de entrada

mix: balance dry/wet, rango 0..1

room size: tamaño del cuarto, rango 0..1

damp: atenuación de las frecuencias agudas, rango 0..1

A continuación un ejemplo usando un Pulse, intenta modificar los últimos tres argumentos (los últimos tres 1), en valores que estén entre 0 y 1 para que escuche la diferencia.

```
// muy reverberante  
{FreeVerb.ar(Pulse.ar(500,0.5)*Line.kr(1,0,0.5), 1, 1, 1)}.play
```

```
// poco reverberante  
{FreeVerb.ar(Pulse.ar(500,0.5)*Line.kr(1,0,0.5), 0.8, 0.5,  
0.5)}.play
```

FreeVerb2.ar (in1, in2, mix, room, damp, mul, add)

Es un Reverb que admite dos señales, el funcionamiento es igual que FreeVerb.

```
// escucha la señal que sale por izquierda y derecha  
{FreeVerb2.ar(LFNoise0.ar(0.5),LFNoise0.ar(1), 0.9, 0.9,  
0.8)}.play
```

Gverb (in, roomsize, revtime, damping, inputbw, spread, drylevel, earlyreflevel, taillevel, maxroomsize, mul, add)

Este reverb es más complejo, procesa la señal en estéreo. Está basado en el efecto LADPSA GVerb.

in: señal de entrada

roomsize: tamaño del cuarto en metros cuadrados

revtime: tiempo de reverberación en segundos

damping: corte de frecuencias agudas, entre 0 y 1, 0 atenúa los agudos por completo, 1 no tanto

inputbw: atenúa la señal como **damping** pero actúa en todo el rango de frecuencia de la señal

spread: controla el esparcimiento de la señal estéreo y la difusión del reverb

drylevel: cantidad de señal seca

earlyreflevel: cantidad de reflexiones tempranas

taillevel: cantidad del nivel de la cola

maxroomsize: pone el tamaño de las líneas de delay. Normalmente +1

Ejemplo dentro de un SynthDef

```
(
SynthDef(\gverb,{|roomsize=3, revtime=2, damping=0.5,
inputbw=0.1, spread=15, drylevel= -11, earlyreflevel= -6,
taillevel= -17|
var in, rev;

in=Dust.ar(2); rev=GVerb.ar(in,
roomsize,
revtime,
damping,
inputbw,
spread,
drylevel,
earlyreflevel,
taillevel,mul:0.4);

Out.ar(0,rev+in)
}).send(s)
)

a=Synth(\gverb)
a.set(\roomsize,2,\revtime,3.5,\damping,0.2,\inputbw,0.6,\spread
,12,\drylevel,-6,\earlyreflevel,-3,\taillevel,-17)
a.free
```

Bibliografía

Coren, Stanley (1999). *Sensación y Percepción*. México D.F.: McGraw-Hill.

Cohen, Jozef (1969). *Sensación y percepción auditiva y de los sentidos menores*. México D.F. : Trillas

Everest, F. Alton (2001). *The Master Handbook of Acoustics*. New York: McGraw-Hill.



Esta obra está sujeta a la licencia Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> o envíe una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.