

Patrones de movimiento en fuentes sonoras utilizando esquemas de Lissajous

Juan Reyes
MagInvent.ORG
juanig@Maginvent.ORG

Recibido: Diciembre de 2012
Aprobado: Marzo de 2013

Resumen

El movimiento de fuentes sonoras en composición electroacústica es un parámetro de expresión intrínseco que ofrece varios caminos de exploración. Una de estas alternativas es la localización de fuentes sonoras utilizando trayectorias en el espacio con una metodología inspirada en esquemas que crean las figuras de Lissajous. En este documento se presentan la motivación para trabajar con este tipo de metodología y se explica el uso de la misma como apropiación de parte del compositor en la aplicación estas matemáticas en composición musical.

Palabras clave: Audio, imagen sonora, información acústica, *software*, fuentes sonoras.

Movement patterns in sound sources using Lissajous figures.

Abstract

Motion of sound sources in electroacoustic music composition is by default an important parameter offering several trails for exploration. A mathematical and graphical technique known as Lissajous Figures, provides several interesting alternatives worth trying, in order to achieve sound source and spectral distribution, over loudspeakers on auditory spaces and concert situations. This paper portraits this technique, and describes artistic appropriation of a mathematical tool used for creative purposes.

Key words: Sound Spatialization, Intensity Panning, Sound Source Motion, Doppler Effect, Spectra, Reverberation, Lissajous Figures, Electroacoustic Composition.

Motivación

En una escucha natural percibimos que el sonido proviene de todos los lados teniendo una señal que es directa, más la suma de muchas reflexiones (Kendall, 1995). Es lógico que desde el punto de vista de composición se utilice este parámetro para alcanzar expresividad en el desarrollo de una obra musical. En percepción sensorial, el movimiento de objetos y de cosas que se acercan y se alejan, también implica un componente sonoro que sugiere claves para la localización de estos. Esto significa que tanto en la experiencia auditiva, como en lo musical, el escucha busca la posición de una fuente sonora para completar y valorar semánticamente la percepción de un sonido (Chowning, 1971).

La manipulación de sonidos de acuerdo a un patrón de movimiento y en relación a una búsqueda estética, se convierte en un reto dentro de las ideas que puede utilizar el compositor en la realización de su obra. Por esta razón, entre otras, compositores electroacústicos e, inclusive compositores de obras con instrumentos tradicionales, han dispuesto de un mecanismo de difusión sonora multicanal y tridimensional.

Descripción

Sistemas y paquetes de síntesis de audio en software (e.g. CLM, Csound, SuperCollider), están provistos con la capacidad de tratamiento de señal en audio multicanal. Esto implica que con manipulación tan solo de la intensidad (volumen), de la señal de audio en cada canal independientemente, además de variaciones en la señal por medio del efecto Doppler con retardos, se puede lograr la percepción de sonido en tres dimensiones con arreglos de altavoces de cuatro o más elementos.

Varios experimentos que incluyen percepción de sonido en el plano con posibilidades del espacio en tres dimensiones se han realizado para lograr un modelo genérico que manipula y controla señales de audio, tanto en sistemas estereofónicos, como en sistemas de cuatro o más canales (López-Lezcano, 2008; Anderson, 2009.), además de metodologías que utilizan un esquema de visualización y gráfica conocido como figuras de Lissajous (Wikipedia, 2012; Mikelson, 1999). En estos experimentos y en otros realizados por el autor (Reyes, 2009), se detectó que el paneo de intensidades es una forma eficaz de localizar fuentes sonoras en el plano o en el espacio (si se dispone de más de cuatro altavoces). Sin embargo, para lograr una sensación real de movimiento, hay que utilizar cambios en la frecuencia y en el espectro de la señal de audio dados por el efecto Doppler, además de reverberación del espacio y retardos en la difusión de la fuente sonora.

Utilizando la forma algebraica de las figuras de Lissajous en el plano (Weisstein, 2011), se crean trayectorias de la fuente sonora y se calcula la intensidad de la señal de audio, de acuerdo a la distancia que existe entre la fuente sonora y cada altavoz. Para fines prácticos, se asume que el escucha se encuentra estático en el centro del plano y los altavoces alrededor. El movimiento es una función del tiempo que implica velocidad y cambios de posición de la fuente sonora en relación

con el escucha y los altavoces, además de dirección. Con la dirección se detecta si la fuente sonora se encuentra a la derecha o a la izquierda del escucha, aparte de localizarla atrás o adelante. Estos factores implican indicios si el sonido se acerca o aleja del escucha. El movimiento igualmente implica cambios sutiles en el espectro y frecuencias del sonido dependiendo de su posición en relación con el escucha y su percepción se enmarca por el efecto Doppler (Russel, 2004). En tratamiento de señales, una forma de lograr cambios en la frecuencia de un sonido es utilizando cambios en la longitud de líneas de retardo (Smith y Abel, 2002).

Lo anterior motiva a concebir un modelo en el que se manipulan variables de movimiento en pares (x,y) , que controlan la entrada de una señal de audio mono-fónica que es esparcida en el plano en un entorno circular o rectangular, acotado por cuatro o más altavoces. En este modelo se procesa la señal logrando los cambios de intensidad ya descritos y los efectos requeridos por el movimiento con cambios en la longitud de la línea de retardo para lograr el efecto Doppler. A la intensidad de Audio en cada canal independiente se añade reverberación de acuerdo al contexto y tamaño del entorno donde se realiza el movimiento de la fuente sonora.

Escucha en el espacio

22

Es bien sabido que al prescindir de indicios visuales, se puede percibir un entorno a partir de información acústica que nos lleva a concluir en un principio, si estamos en un lugar al aire libre o en un recinto como un salón, auditorio o teatro. También se perciben claves sobre si este espacio es una caverna o una sala sin reverberación, además de fuentes sonoras que aportan al contexto como sonidos de animales, de la naturaleza y posiblemente de mecanismos y artefactos en movimiento. Al caminar de un ámbito acústico a otro cambian sus características, aportando a la sensación de movimiento.

En un modelo de espacialización ideal con tratamiento de señales para lograr la simulación artificial de ambientes sonoros que delinean el plano o el cubo, también análogos a la imagen de una visión tridimensional, es necesario lograr un entorno en donde el escucha perciba mediante altavoces o audífonos, además del tamaño de una fuente sonora, su dirección, su distancia y movimiento en relación con el escucha (Moore, 1983).

Así pues el tratamiento de señales de audio que generan patrones de movimiento de fuentes sonoras envuelven cualidades relacionadas con las características físicas del entorno además de características psicológicas en la percepción de sonidos que se presentan al escucha. Entre las cualidades físicas del entorno se tiene en cuenta si este está al aire libre o si está en un lugar cerrado. Adicionalmente, se consideran su forma, tamaño y finalmente su reverberación. Las cualidades en la percepción de un sonido son la frecuencia o altura, su espectro o timbre, la intensidad del sonido o volumen, la dirección o ángulo en referencia al escucha y aparente movimiento de la fuente sonora.

Estos factores crean una analogía acústica similar a la perspectiva visual, siendo una importante fuente de información ambiental. Con esto se puede predecir que la sonoridad de un entorno disminuye o aumenta de acuerdo a la distancia, tal como ocurre con el tamaño aparente de objetos con el sentido de la vista. Por lo tanto cuando una fuente sonora se acerca, cambia la intensidad sonora y se acorta la percepción de un panorama acústico. Al tener fuentes sonoras lejanas, la percepción del panorama es más amplia y la posibilidad de discernir entre diferentes sonidos disminuye por lo que se trata de percibir un contexto de ambiente en general (Basso, 2009). Al modelar un espacio sonoro se puede hablar de un panorámico en donde hay sonidos atrás en un horizonte imaginario y adelante. Los sonidos de atrás están a una distancia mayor del escucha y por lo tanto su intensidad es menor, ya que la intensidad de un sonido es el inverso del cuadrado de la distancia. Si se añade el factor de reverberación a la perspectiva

acústica del entorno, se tiene que el radio (o proporción), entre los sonidos lejanos y sus reflexiones, es menor que en sonidos que se perciben más cercanos. Obviamente en sonidos más cercanos se escucha más intensamente la fuente directa que las reflexiones.

Localización de fuentes sonoras

Existen dos fenómenos que contribuyen a la dirección en la percepción de una imagen sonora. En un principio se tiene el fenómeno de lateralización que representa la ubicación de una fuente sonora en referencia a la cabeza del oyente. Este efecto existente en escucha binaural típica en audífonos y auriculares, describe que con el movimiento de la cabeza en una persona, también se mueve la fuente sonora. Lo que quiere decir que la imagen sonora siempre es la misma sin importar el movimiento de la cabeza. En segunda instancia el otro fenómeno es conocido como localización e implica que el escucha percibe la dirección de una fuente sonora en referencia a un entorno externo de la cabeza. En la localización auditiva, los eventuales movimientos de la cabeza no afectan la ubicación y el referente de la fuente sonora (Di-Liscia y Basso, 2009).

24

En localización de fuentes sonoras existen claves en la intensidad del sonido que llegan a cada oído por separado, ayudando a determinar la dirección de la fuente sonora, especialmente en sonidos con espectros de frecuencias altas, superiores a 2000 Hz. Otro factor es la diferencia en los tiempos de llegada de un sonido a los oídos. Esto sugiere que si un sonido que está en frente del escucha, no hay diferencia en tiempos de llegada a cada uno de los oídos. Si el sonido está ubicado hacia la izquierda, el tiempo de llegada de sonido al oído derecho es mayor que al izquierdo y, viceversa (Moore, 1983).

El efecto Doppler es otro factor que contribuye a localización de fuentes sonoras en el espacio. Se percibe el efecto Doppler de un sonido como al escuchar si las cornetas de un tren se acercan o alejan de un sujeto. Este fenómeno de percepción del sonido genera cambios en el espectro de frecuencias del sonido y en la intensidad. Si el sonido se aleja, bajan aparentemente la frecuencia e intensidad y al contrario.

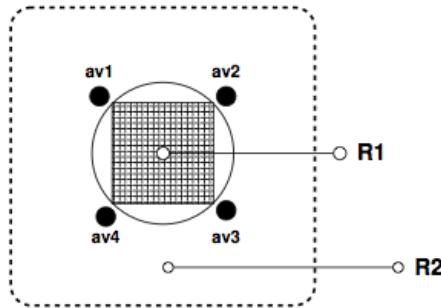


Figura 1. Esquema del modelo de espacialización de un recinto dentro de otro recinto. Se puede apreciar un recinto interno R1, dentro del recinto externo R2. El escucha y la audiencia se encuentran en el recinto interno; los altavoces AV... AV4, actúan como ventanas de un recinto R1 al otro. La ilusión de movimiento de fuentes sonoras se presenta alrededor del círculo que aparece como umbral y que une los altavoces entre ambos recintos. La imagen sonora espacial aparece por detrás de este umbral circular.

Modelo para espacialización

Para la aplicación de movimiento de fuentes sonoras en un espacio artificial que se concibe para la difusión de sonidos en una composición, se utiliza el esquema definido por F.R. Moore (Moore, 1983), (ver Figura 1). En este esquema se describe un modelo que representa la ilusión de un espacio acústico delimitado por un recinto dentro de otro recinto mayor. El recinto interno puede ser un auditorio o una sala de conciertos; el externo representa la ilusión de un espacio

acústico imaginado. Los altavoces están dispuestos en el recinto interno y sirven como ventanas que comunican al oyente lo que sucede en el recinto externo (Cetta, 2007). El tamaño del recinto externo está dado por las dimensiones del espacio acústico artificial, que bien puede ser una catedral o un estadio. Estas dimensiones en percepción determinan la reverberación artificial del recinto externo. El recinto interno aporta su reverberación natural. Dependiendo de la proximidad a los altavoces, cada oyente percibe el sonido con una perspectiva diferente aunque la audiencia en total percibe la misma ilusión de movimiento con trayectorias de sonidos.

Con las fuentes sonoras localizadas en el recinto externo, entre más altavoces, más clara la ilusión de las movimiento de sonidos en el recinto externo. La trayectoria de una fuente sonora se despliega al pasar el tiempo de altavoz en altavoz, creando la ilusión de movimiento a los escuchas en el recinto interno. Si por ejemplo se quiere generar la ilusión de movimiento circular con ocho altavoces, la fuente sonora pasará del altavoz No.1, al No.2, al No.3 y sucesivamente hasta volver a llegar al altavoz No.1. Las cualidades de la fuente sonora están representadas por vectores de radiación que incluyen parámetros como distancia, ángulo, amplitud y reverberación.

26

Para calcular la intensidad de una fuente sonora en el recinto externo, asumiendo que el escucha se encuentra en un lugar promedio del interno, se ha utilizado la siguiente fórmula que involucra cambios en la distancia, sugeridos en (Moore, 1998: 355-358).

$$G_n(\theta, D) \triangleq \begin{cases} \frac{D_n}{D} \cos(\theta - \theta_n) & \text{si } |\theta - \theta_n| < \frac{\pi}{2}, \\ 0 & \text{para los demás valores.} \end{cases} \quad (1)$$

En la fórmula de la ecuación No.1, $G_n(\Theta, D)$ es el factor de ganancia o intensidad para el altavoz n . La fuente sonora se encuentra a una distancia D y a un ángulo

Θ del escucha. Θ_n y D_n son el ángulo y la distancia entre el escucha y los altavoces en el recinto interno. Los ángulos se dan en radianes y $|x|$ significa el valor absoluto de x . La distancia en coordenadas x,y está dada por:

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (2)$$

Si el escucha está en el centro u origen la ecuación No.2 se reduce a:

$$D = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (3)$$

Teniendo las coordenadas x,y de una fuente sonora, el ángulo Θ puede ser obtenido a partir de:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right). \quad (4)$$

Por lo tanto, en un modelo para patrones de movimiento, si se conoce la posición de una fuente sonora por medio de coordenadas x,y se puede calcular un factor de ganancia utilizando la ecuación No. 1. En el caso de las figuras de Lissajous, cada reiteración del sistema produce un par x,y en el plano, con el que se puede manipular la intensidad de una fuente de acuerdo a la distancia en referencia al origen donde se supone, se encuentra el escucha promedio. Varias reiteraciones del sistema, al pasar el tiempo generan cambios de posición que producen indicios sobre la posición y una trayectoria cambiante que sigue un sonido. El factor de ganancia se calcula para cada altavoz en el recinto interno. Si se utilizan cuatro altavoces, cada uno está colocado con una diferencia de 90° , ($\pi/2$ en radianes).

Con ocho altavoces la diferencia entre el uno y el otro es de 45° , ($\pi/4$ en radianes). Como se ve en la ecuación No.1, el factor de ganancia de cada altavoz depende de su ángulo en referencia al escucha hipotético en el centro u origen del sistema pero también de la distancia entre el altavoz y el escucha. Por lo que hay que tener en cuenta ambos valores para el movimiento e ilusión de trayectorias de sonidos en el recinto externo y en referencia a cada altavoz.

Figuras de Lissajous

Una descripción técnica de las figuras de Lissajous puede resumirse como los patrones formados al sobreponer dos representaciones de vibraciones periódicas (como sinusoides), a lo largo de dos ejes perpendiculares. En 1855, Jules Antoine Lissajous desarrolló un método experimental para estudiar vibraciones compuestas, típicas en espectros de sonido (se aprecian claramente en síntesis de audio por frecuencia modulada). El experimento consistía en añadir un espejo a cada uno de dos objetos vibratorios como diapasones. Adicionalmente se enfocaba un rayo de luz a uno de los espejos que siguiendo su trayectoria, se reflejaba en el otro y el resultado se proyectaba en una pantalla en donde se formaba un patrón visual. Esta metodología antecedió al osciloscopio como dispositivo para visualizar vibraciones y consecuentemente el estudio del sonido ya no estaba confinado al sentido de la escucha (Maor, 2002). La definición paramétrica de las figuras de Lissajous está dada por las siguientes ecuaciones:

$$x = a \sin(\omega_1 t + \phi_1), y = b \sin(\omega_2 t + \phi_2). \quad (5)$$

En las fórmulas de la ecuación No. 5, ω_1, ω_2 son la frecuencia angular (en radianes por segundo); a y b las amplitudes respectivas y ϕ_1, ϕ_2 las diferencias en fase entre una función y la otra. t es el parámetro de tiempo (o reiteraciones del

sistema). Para las condiciones iniciales en este sistema de ecuaciones habría que manipular seis parámetros diferentes, lo que hace complejo el control de este sistema. Por lo que reducciones algebraicas pueden simplificar la manipulación de este sistema. Por ejemplo si $\omega_1 = \omega_2$ y $\phi_1 = \phi_2$, tendríamos:

$$x = a \sin(\omega t + \phi), y = b \sin(\omega t + \phi), \quad (6)$$

En donde se eliminan los subscritos en cada una de las ecuaciones. Similarmente si $\omega_1 \neq \omega_2$, con una diferencia de fases de $\pi/2$ y $\phi_1 = 0$, se obtiene:

$$x = a \sin(\omega t), y = b \cos(\omega t), \quad (7)$$

Si las frecuencias son diferentes se crean curvas más complejas. Por ejemplo cuando $\omega_2 = 2\omega_1$, las vibraciones aparecen con una octava de diferencia y se obtiene:

$$x = a \sin(\omega t), y = b \cos(2\omega t). \quad (8)$$

Finalmente, y tratando de reducir el número de parámetros que se pueden manipular en las fórmulas de la ecuación No. 5, si $\omega_2 = \omega_1$ y $\phi_2 = 0$, donde no hay diferencia de fase entre ambas ecuaciones, obtenemos una forma reducida para las figuras de Lissajous.

$$x = a \sin(\omega t + \phi), y = b \cos(2\omega t). \quad (9)$$

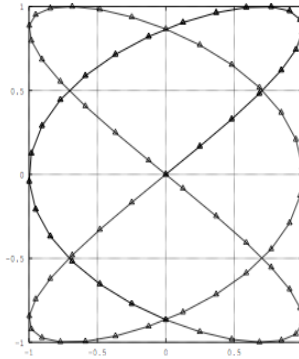


Figura 2. Ejemplo de una figura de Lissajous. En este caso se utilizan los parámetros, $a = b = 1$, $\omega = 3/2$ $\phi = 0$, de la ecuación No. 9. Pares de puntos x,y , delinear movimientos laterales, al frente, atrás y en el centro. Los máximos están entre $[-1,1]$, lo que facilita ampliar el espacio a mayores o menores distancias.

30

Con estas fórmulas para encontrar pares x,y de puntos para posibles locaciones de fuentes sonoras en el plano, los parámetros se reducen de seis a cuatro. Por ejemplo en la figura No.2, se puede apreciar el movimiento en una figura de Lissajous donde las amplitudes son $a = b = 1$, la frecuencia angular $\omega = 3/2$ radianes por segundo, y el desfase $\phi = 0$. La curva está centrada en un cuadrado que se puede adaptar al modelo del recinto -2 , en el modelo para espacialización ya descrito, de un recinto pequeño dentro de un segundo más grande (ver Figura 1). En cada momento de la trayectoria del sonido se calcula su distancia con el origen (centro, y el ángulo, suponiendo que el escucha se encuentra ubicado en centro de ambos recintos). La distancia y el ángulo sirven para calcular indicios de mo-

movimiento del sonido como su intensidad y el efecto Doppler. Con la intensidad y el ángulo también se calcula la reverberación de todo el espacio en referencia a la audiencia interna. La Figura 3, muestra otros patrones para trayectorias, simplemente cambiando los parámetros de frecuencia angular ω y la diferencia de fase θ en la ecuación No.9. Ejemplos de valores para éstos parámetros se pueden encontrar en: (Weisstein: 2011).

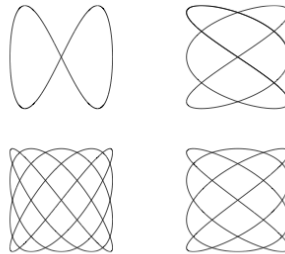


Figura 3: Ejemplos de diferentes patrones con figuras de Lissajous.

Modelo para el efecto Doppler

El efecto Doppler se percibe como cambios relativos de altura y frecuencia, cuando un sonido se aleja o se acerca del escucha al transcurrir la duración del sonido. En la Figura 2, se aprecian los cambios de posición en el tiempo e implican una velocidad con la que se acerca o aleja la fuente sonora. Esto indica que la velocidad en función del tiempo es el factor con el cual se calculan los cambios de frecuencia del sonido con el efecto Doppler. En términos de velocidad se puede decir que los cambios de frecuencia de una fuente sonora en movimiento están dados por:

$$\omega_e = \omega_s \frac{c}{c - v}, \quad (10)$$

Donde ω_e es la frecuencia del sonido que percibe el escucha, ω_s es la frecuencia real del sonido, v la velocidad de aproximación o alejamiento de la fuente sonora y c , la velocidad del sonido. Un método eficaz para el modelo computacional del efecto Doppler es la línea de retardo (Smith: 2002).

Es bien sabido que al variar la longitud (en duración), de una línea de retardo, ocurren variaciones en la frecuencia del sonido que pasa a través de este dispositivo (Smith y Abel, 2002). Si $x(t)$ es la entrada de un sonido, la línea de retardo está dada por $Y(t) = x(t-D_t)$, donde D_t denota la variación de la línea de retardo en segundos. Partiendo de la ecuación No.10, se puede decir que $D_t = v/c$. Por lo que variaciones en la longitud de la línea de retardo pueden calcularse a partir de la velocidad instantánea con $D_t = -d/c$, donde d , es la distancia dada desde el par x,y al origen. Con este método se deduce que cambios en la longitud de la línea de retardo, implican cambios en la frecuencia del sonido que se procesa.

Integración de los modelos de intensidad y Doppler

Para lograr un modelo para trayectorias de fuentes sonoras con figuras de Lissajous, es necesario integrar los factores de intensidad del sonido y el efecto Doppler. Esto quiere decir que dependiendo de la distancia y el ángulo entre el escucha y la fuente de sonido, hay que calcular la intensidad y los cambios de frecuencia en el sonido que se mueve. Dado el modelo del recinto interno al externo, hay que calcular la intensidad de la fuente y el Doppler por cada altavoz.

Dependiendo de la posición del par x,y , la intensidad será diferente en cada uno de los altavoces y obviamente será mayor en el altavoz que se encuentra más cercano a la fuente. Ya que la reverberación es proporcional a la intensidad del sonido, habrá mayor nivel de este parámetro en la dirección del altavoz con más volumen, aunque la reverberación se dispersará proporcionalmente y por parejo a cada uno de los demás altavoces. Existe la posibilidad de incorporar otras claves de localización de fuentes pero en el momento no se utilizan ni los indicios de lateralización, ni los de localización ínteraural.

Aplicación del modelo

Se han desarrollado varios programas en que se implementa el modelo descrito para patrones de movimiento de fuentes sonoras, usando figuras de Lissajous y otros esquemas. La parte teórica se logró usando prototipos en *Octave* y *Matlab*, que son herramientas que ayudan para cálculos matemáticos. Para composición de música electroacústica se han utilizado *CLM* (Schottstaedt, 2006) y *S7* (Schottstaedt, 2011) y *SuperCollider*. Las versiones en *SuperCollider* aparte de utilizar el paradigma del recinto dentro de otro recinto, añaden la posibilidad de Ambisonics (Gerzon, 1985). Los algoritmos de *Octave* han sido implementados con tan solo traducción del código a cada uno de estos lenguajes. El único reto que surge, es la implementación de la línea de retardos fraccionada e interpolada, que igualmente es un generador de unidades incorporados en *CLM*, *S7* y *SuperCollider*.

El flujo de señal en cada programa sigue una fuente sonora que puede ser un lector de archivos de audio monofónicos o generadores de unidades como osciladores. A partir de ahí, la señal es distribuida a cuatro o más canales para hacer el tratamiento de señal respectivo. Para cada canal hay que realizar el tratamiento de señal respectivo, dependiendo de la posición de la fuente con su par x,y , en referencia a su ángulo con el escucha y con el altavoz de cada canal. Por lo

tanto hay factores independientes de intensidad y Doppler para cada altavoz en el espacio acústico simulado.

La implementación del factor de ganancia se calcula en *Lisp* o *S7* con el siguiente macro:

```
(defmacro gaintd (angle x y spkpos)
  '(let* ((theta ,angle)
         (distn (sqrt (+ (* ,x ,x) (* ,y ,y))))
         (right-angle halfpi))
    (if (< (abs (- theta ,spkpos)) right-angle)
        (cos (- theta ,spkpos))
        (+ 0.0 0.001))))
```

Para calcular el efecto Doppler primero se calcula el cambio de la longitud de la línea de retardo, dado en muestras de señal de audio con:

```
(defmacro distn->samples (dist)
  '(* ,dist (/ *srate* 344)))
```

Cada línea de retardo se define en:

```
(delay0 (make-delay :max-size (* 2.0 *srate*)))
```

y su respectiva llamada se hace con:

```
(delay delay0 signal (* 1.0 (distn->samples d0)))
```


Casos y aplicaciones

El modelo descrito y los algoritmos que aquí se mencionan han sido utilizados en la composición de varias obras electroacústicas realizadas por el autor. En *Esquemas de Marimonda* (2007), se utilizó un modelo del espacio estereofónico (Reyes, 2009). En *Chuchoter* (2010), se aplica el modelo a cuatro canales, con tan solo cambios de intensidad pero siguiendo trayectorias con figuras de Lissajous. En una nueva versión de *Chuchoter* (2011), se añaden los cambios de frecuencia para el efecto Doppler, se aumenta la difusión a ocho canales y se utiliza Ambisonics. En *Traxpong* (2011), se aplica la misma metodología de la última versión de *Chuchoter*, utilizando intensidad por Lissajous, Doppler y Ambisonics en ocho canales. Los programas utilizados son de fuente abierta y están a disposición del lector.

Trabajo Futuro

Ningún software está libre de errores (*bugs*), por lo que para nuevas versiones se corregirán las deficiencias que vayan apareciendo. En la ecuación No.9 de las figuras de Lissajous, hay cuatro o más parámetros que se pueden manipular, lo que invita a probar con más combinaciones de parámetros y condiciones iniciales. De gran importancia es tratar de lograr una implementación de este método en un modelo de audio en tres dimensiones como “*third-order*” Ambisonics o VBAP (Pulkki y Lokki, 1998). También cabe la posibilidad de adaptar la generación de estas trayectorias con figuras de Lissajous a otros programas como *DLOCSIG* (López-Lezcano, 2008) y *move-sound* en *S7* y *CLM*. Por su versatilidad en crear gestos no tan predecibles en la difusión de material sonoro, es muy seguro que en la concepción de nuevas obras, este método sea una herramienta y parámetro de expresión musical.

Conclusiones

Se ha presentado una metodología para lograr trayectorias de fuentes sonoras que siguen esquemas delineados por figuras de Lissajous. Estas trayectorias se formulan como una ilusión de movimiento de sonido en el espacio, aunque el modelo funciona en el plano. Para lograr el objetivo de un ámbito sonoro omnidireccional, se utiliza el paradigma de un recinto de menor tamaño dentro de uno más grande. La ilusión de movimiento ocurre en el recinto grande y los altavoces del recinto interno actúan como ventanas al externo. Es bien sabido que cambios en la intensidad y en el ángulo, de una fuente sonora en relación con el escucha, esbozan una perspectiva sonora del ambiente donde se está percibiendo el sonido. Igualmente, cambios en la frecuencia del sonido son claves determinantes para saber si la fuente se acerca o se aleja del escucha. Patrones de movimiento con figuras de Lissajous es un método ágil para generar trayectorias de sonidos que no son tan predecibles como metodologías lineales o circulares. Este modelo ha sido utilizado exitosamente en varias composiciones desarrolladas por el autor.

Referencias

36

Anderson, J. (2009). "Classic Stereo Imaging Transforms: A Review". En: Basso, G., Di Liscia, O. P. y Pampin, J. (Eds.). *Música y espacio: ciencia, tecnología y estética*. Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Basso, G. (2009). Percepción espacial del ambiente acústico. En: Basso, G., Di Liscia, O. P. y Pampin, J. (Eds.). *Música y espacio: ciencia, tecnología y estética*. Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Cetta, P. (2007). *Un modelo para la simulación del espacio en música*. Argentina: Educa, Editorial Universidad Católica Argentina.

Chowning, J. (1971). "The simulation of moving sources". En: *Journal of the Audio Engineering Society*, No. 1, Vol. 19, pp. 2-6.

Di-Liscia, P. y Basso, G. (2009). "Audición espacial de sonido: conceptos básicos y estado actual de la cuestión". En: Basso, G., Di Liscia, O. P. y Pampin, J. (Eds.). *Música y espacio: ciencia, tecnología y estética*. Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

Gerzon, M. A. (1985). "Ambisonics in multichannel broadcasting and video". En: *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 33, pp. 859-871.

Kendall, G. (1995). "A 3-d sound primer: directional hearing and stereo reproduction". En: *Computer Music Journal*, No. 4, Vol. 19, pp. 23-46.

López-Lezcano, F. (2008). "Dlocsig, a dynamic spatial locator ugen for clm". En: *Proceedings of Sound and Music Computing Conference 2008*.

Maor, E. (2002). "Jules Lissajous and his figures". En: *Trigonometric delights* (pp. 145-149). Princeton University Press.

Mikelson, H. (1999). "Parametric equation oscillators". En: <http://www.csounds.com/ezine/spring1999/synthesis/> [Consultado en septiembre de 2011].

Moore, F. R. (1983). "A general model for spatial processing of sounds". En: *Computer Music Journal*, No. 3, Vol. 7, pp. 6-15.

_____. (February 17, 1998). "Elements of computer music". *Pearson Education POD*.

Pulkki, V. y Lokki, T. (1998). "Creating auditory displays with multiple loudspeakers using vbat: a case study with diva project". En: *Proceedings of the 5th International Conference on Auditory Display (ICAD98)*. British Computer Society.

Reyes, J. (2009). "Esquema sonoro: una aproximación musical a la plástica sonora". En: *Itamar, Revista de Investigación Musical: Territorios para El Arte*.

Russel, D. (2004). "The doppler effect and sonic booms". En: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/doppler/doppler.html> [Consultado en octubre de 2011].

Schottstaedt, B. (2006). "Common Lisp Music (CLM)". En: <http://ccrma.stanford.edu/software/snd/snd/clm.html> [Consultado en febrero de 2012].

_____. (2011). "S7". En: <http://ccrma.stanford.edu/software/snd/snd/s7.html> [Consultado en mayo de 2012].

Smith, J. (2002). "Delay lines". En: https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/Delay_Lines.html [Consultado en mayo de 2012].

Smith, J. y Abel, J. (2002). "Doppler simulation and the Leslie". En: <https://ccrma.stanford.edu/~jos/doppler/> [Consultado en marzo de 2012].

Weisstein, E. (2011). "Lissajous curve reference". En: <http://mathworld.wolfram.com/LissajousCurve.html> [Consultado en mayo de 2012].

Wikipedia. (2012). "Lissajous curve". En: http://en.wikipedia.org/wiki/Lissajous_curve [Consultado en marzo de 2012].