

Fundamentos de Síntesis de Audio con Granos

Daniel Prieto

Juan Reyes

D. de Música, Universidad de Los Andes

CCRMA, Stanford University

Abstract—La composición e investigación musical cada vez están más ligadas a áreas científicas como acústica, psico-acústica, percepción y electro-acústica. En los últimos años, los computadores se han convertido en un espacio central para este tipo de investigación que incluye síntesis de sonido, tratamiento de señal de audio y composición asistida por computador. Uno de los desarrollos más sorprendentes en este encuentro arte-ciencia-tecnología ha sido el presionar las fronteras a un nivel microscópico. A este nivel, los conceptos tradicionales de frecuencia y tiempo se juntan produciendo una relación cuántica en donde el principio de incertidumbre precisamente las relaciona. En 1947 el físico D. Gabor expresaba este principio como crítica al teorema de Fourier eliminando lo referente al dominio del tiempo. Gabor ilustró que al acortar la duración de un sonido el dominio del espectro se agranda y las frecuencias se vuelven im-perceptibles. La clase de métodos de síntesis de sonido que está basado en este concepto es conocida como síntesis granular o como la granulación de sonidos digitalizados. En este ensayo se hace una breve descripción relevante a esta metodología.

I. DEFINICIÓN:

Entre los diferentes métodos de síntesis de audio para la producción de sonidos que pueden tener algún tipo de significado musical existe una clase conocida como síntesis de audio por modelos dependientes del tiempo y frecuencia (t/w). De estos algunos están basados en el principio que relaciona estos dos componentes t/w a nivel cuántico de tal forma que cambios en la señal relacionados con el dominio del tiempo alteran el espectro del timbre de un sonido y viceversa. Los métodos que utilizan este principio para la manipulación y tratamiento de un sonido son conocidos como síntesis granular y granulación de sonidos digitales. Como resultado se obtienen altas densidades de cuanta acústica que se puede denominar como “granos”. Estos granos se producen a partir de formas de onda y envolventes con una duración menor a 50ms. Al repetir varios granos en una sucesión a una tasa mayor a 20Hz., los granos se funden produciendo un sonido continuo. Es así como cada grano del tipo “granos de Gabor” posee una forma de onda independiente de la duración del grano (Síntesis Granular) mientras que en la granulación de audio se utiliza un modelo del tipo análisis / re-síntesis con un método matemático conocido como “onditas” o “wavelets” y en el cuál se mantiene una relación inversa entre la frecuencia y duración.

II. HISTORIA

Al igual que en el fenómeno de la luz, el concepto de sonido puede interpretarse en términos de ondas a gran modo pero también a un nivel más específico como puede ser

el caso de partículas a un nivel sub-atómico, es decir como los fotones en un rayo de luz. En el fenómeno acústico, un sonido puede estar compuesto por una sucesión de miles de partículas o gránulos que se esparcen en toda su duración. Un grano de sonido puede durar entre 1 y 100 milisegundos(ms.) aproximándose al límite de la percepción acústica. Este tipo de representaciones granulares son una forma práctica para apreciar fenómenos sonoros con un alto grado de complejidad - al considerarse como constelaciones de unidades elementales de energía unidas por tiempo y frecuencia. El “grano” de un sonido es una apta representación de un evento sonoro al combinar información tanto en el dominio del tiempo como en el dominio del espectro.

Puntos de vista en referencia al sonido aparecieron desde los orígenes de la revolución científica (circa 1600). Sin embargo la noción de “granular” o de “quantum” como aproximación al sonido solo es propuesta por Dennis Gabor en Inglaterra en 1946 en dos artículos en los que combinaba enigmas teóricos y experimentos relacionados con la física cuántica. De acuerdo a esta teoría cualquier representación granular puede describir un sonido. Para esto en la misma época Gabor construyó un granulador de sonido que consistía en un sistema de grabación óptica adaptado de un proyector de cine, para experimentos en compresión y expansión de duraciones del tiempo, sin cambios en la altura del sonido o viceversa. Una representación “granular” también es implícita en la técnica de ventanas analíticas utilizadas en la transformada corta de Fourier (STFT) desde los años 1960.

El compositor Iannis Xenakis en la década de los 1960 es el primero en explicar una teoría explícita para la composición con granos de sonido. Xenakis adoptó el siguiente lema:

“Todos los sonidos, inclusive en una variación continua, se conciben como un ensamblaje de un gran número de sonidos elementales que están adecuadamente dispuestos en su lugar en el tiempo. En el ataque, cuerpo y desvanecimiento de un sonido, miles de sonidos más puros aparecen en un intervalo de tiempo δt más o menos corto”.

Xenakis fabricó sonidos granulares utilizando cortes y empalmes con cinta de grabación magneto-fónica que aparecen en su composición *Analogique A-B* para orquesta de cuerdas (1969).

Curtis Roads (1974) comenzó la primera implementación informática del método de síntesis granular en la Universidad de California en San Diego culminando en MIT en 1981 con una algoritmo para su aplicación y con varias composiciones utilizando este sistema. Subsecuente-mente el compositor

canadiense Barry Truax ha implementado este método con diferentes formas, aproximaciones y adaptándolo aún mas a un sistema de composición. Para Truax este sistema significa:

“En mi propio trabajo, el concepto de granular ha caracterizado la mayoría del tratamiento que hago en trabajos con sonido digitalizado. Lo mas sorprendente en esta aplicación es la habilidad de estrechar la duración sin cambiar la altura del sonido. Esto es una paradoja reveladora: al juntar tiempo y frecuencia a un nivel micro cósmico, la duración y el espectro pueden ser controladas independientemente a un nivel mas macro cósmico.”

III. TEORÍA

Una envolvente de amplitud da la forma a cada grano de sonido. Esta envolvente puede variar en diferentes implementaciones de una curva del tipo campana en un Gaussian a una simple figura que consta de tres segmentos lineales (ataque, sostenido desvanecimiento). La siguiente ecuación define una curva del tipo Gaussian:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

donde σ es la desviación estándar y μ es la media o pico central.

Una forma cuasi-Gaussian característica de la ventana analítica “Tukey” y en donde el pico de amplitud del sonido se extiende entre 30 y 50 por ciento de la duración, ha probado ser sonoramente efectiva. La duración de un grano puede ser constante, aleatoria o puede variar dependiendo de la frecuencia (ver fig-1). Esto significa que se puede asignar duraciones mas cortas a granos con frecuencias mas agudas. La relación de correspondencia entre la frecuencia de un grano y su duración es característica del análisis y resíntesis por el método de onditas.

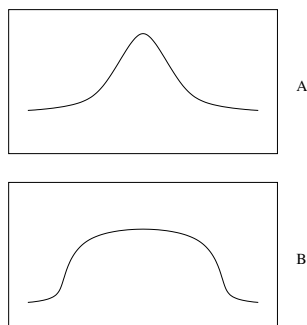


Fig. 1. Formas de Gaussian (A) y Tukey (b)

La forma de onda de un grano puede ser de dos tipos: sintética o por muestreo. Formas de onda sintéticas consisten en sumas de sinusoidales producidas a una frecuencia específica. Para granos producto de un muestreo, típicamente se lee una muestra (no necesariamente en forma secuencial) de una forma de onda digitalizada, en un lugar estipulado cambiando o no duraciones y alturas. Algunos de los parámetros pueden ser manipulados grano a grano comenzando por duración,

envolvente dinámica, frecuencias, posición de la muestra (para granos de audio digitalizados), espacialización y forma de onda (para granos sintetizados). Es así como esta técnica con un control grano a grano, conlleva a efectos únicos y no posibles con otro tipo de tratamiento de señal.

IV. GENERADORES DE GRANOS

La síntesis granular puede ser implementada por medio de un simple instrumento de síntesis de señal de audio de la siguiente manera: un oscilador de ondas sinusoidales es controlado por un generador de envolventes (ver fig-2). Adicionalmente este instrumento puede ser extendido para permitir otras opciones con funciones de ondas por tablas (wave-table).

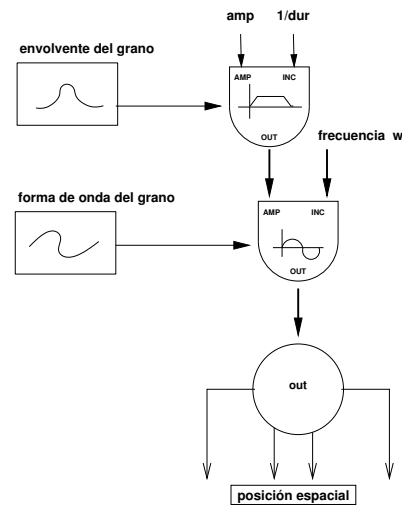


Fig. 2. Generadores de Unidad para cada Grano

A pesar de la simpleza de este instrumento, para generar un sonido de característica plana y poco complicado, se requiere de una gran cantidad de datos e información para controlarlo musicalmente (i.e. miles de parámetros por cada segundo de síntesis de audio). Cada uno de los parámetros que describen un grano de sonido utilizan variables como amplitud, comienzo, duración, etc. Ya que no se quiere variar cada uno manualmente, un tipo de organización de información a un mas alto nivel es necesario para introducir cambios uno a uno en una serie de granos en sucesión.

V. ORGANIZACIONES GRANULARES DE ALTO NIVEL

La complejidad de un sonido generado por síntesis granular es derivada de la cantidad de información que se introduce al sistema. Si n es el numero de parámetros por cada grano y d la densidad promedio de granos por segundo en un sonido, tomará (dxn) valores para especificar las características de un sonido por segundo. Ya que la densidad d puede cambiar entre algunas docenas de granos o entre varios miles, es claro que para el propósito de composición algún mecanismo de control a alto nivel deberá proveer la capacidad de manipulación con las variables en cada grano y consecuentemente con la organización del sonido. El objetivo de este mecanismo es permitir estipular parámetros para grandes cantidades de

sonidos utilizando relativamente unos pocos parámetros globales. Algoritmos existentes para este tipo de manipulación pueden ser clasificados en cinco categorías dependiendo de la organización de los granos:

1. Marcos de ventanas analíticas de Fourier u Onditas.
2. Sucesiones de granos cuasi-sincrónicas.
3. Nubes de granos cuasi-sincrónicas.
4. Cadenas de granos sincronizadas por la altura (tonalidad).
5. Granulados por el tiempo, cadenas de de muestras de sonidos con reproducción sobrepuesta cuasi-sincrónica o asincrónica.

V-A. *Marcos de Ventanas Analíticas*

La obra de Xenakis *Screen* esta compuesta por este tipo de síntesis granular en la cuál la frecuencia ver-sus el tiempo en un eje cartesiano, se divide en sub-cuadros o marcos. Cada uno de estos cuadros representa un grano con una intensidad mayor o igual a cero. Series de estos marcos(escenas) se recogen para formar sucesiones (libros) que forman una composición.

V-B. *Síntesis Granular Cuasi-Sincrónica*

Este tipo de síntesis granular produce cadenas de sonidos con un parámetro que varía granos que se sobreponen o saltan entre o en el medio de otros granos. Esta técnica es similar a la síntesis de audio por “amplitud modulada” en la cual una onda portadora (forma de onda granulada) es modulada (alterada) por la envolvente de amplitud de cada grano. El resultado implica un desarrollo de componentes espectrales por encima y por debajo de la onda portadora a ($1/\text{periodo}$) de la envolvente granular.

V-C. *Síntesis Granular Asincrónica*

La síntesis granular asincrónica dispersa granos de sonido a partir de probabilidades sobre regiones de frecuencia y tiempo. Al utilizar distribuciones de probabilidad se generan nubes o racimos de granos que pueden ser interpretados analógicamente como el pintar con chorros de granos un sonido de nubes con partículas sonoras. Las variables para controlar este proceso pueden incluir parámetros tales como duración de los granos y espectro, densidad de los granos por segundo, centro y ancho de banda de la nube de granos, amplitud y evolución de la nube entre muchos mas.

V-D. *Granulación de Archivos de Audio por tiempo*

Para esta clase granulación se utiliza un archivo de audio de entrada que luego es cortado en pequeñas piezas hasta del tamaño de un grano para luego redistribuir y transformar en un archivo de audio de salida.

VI. PARA EL COMPOSITOR: INSIGNIFICANCIAS QUE HACEN SENTIDO

Los sonidos resultantes de síntesis granular se pueden denominar como “texturas” por la naturaleza discreta de la señal. De textura siempre se ha hablado en música para referirse

sobre grupos de eventos individuales en los que se dispone de variables típicas como timbre (con instrumentación con elementos de orquesta), frecuencias o alturas, ritmo, intensidad y cantidad de energía en los parciales. Estos mismos parámetros se aplican a cada quantum sonoro utilizando síntesis granular.

Para este efecto se han utilizado también técnicas para análisis de sonido basadas en onditas. Para las muestras en esta señal y en un contexto de una obra musical, se han utilizado sonidos de voz humana debido a que es un material pre-existente y reconocible al ser alterado por el método de síntesis granular con marcos de ventanas analíticas. Esto significa que al alterar una señal de esta manera, algunos aspectos atribuidos a la fonética en las sílabas habladas pueden ser alterados adquiriendo diferentes significados.

VII. CUALIDADES SONORAS

Otro de los usos que se le ha dado a la síntesis granular en un contexto de composición, es el de lograr texturas que tengan características sonoras similares al material de base pero sin hacer su contenido evidente. Los granos ínfimos se ordenan en secuencias diferentes a la original, obteniendo en el caso del timbre de la voz, una nube de partículas sonoras en las que se puede percibir la procedencia del sonido (con semejanza a una señal de voz hablada o cantada). En la nube sonora, la duración (ritmo) o las frecuencias, pueden haber sido segmentadas, alterando su orden y creando un ambiente sin tener los elementos expuestos de manera explícita. Para un compositor este tipo de manipulaciones con síntesis de audio, permite alta flexibilidad en el gesto, debido a diferentes grados de libertad que resultan a partir de varias combinaciones de las variables en música antes mencionadas.

VII-A. *Ejemplos*

Para efectos de composición con este sistema se generaron varios ejemplos de señal utilizando únicamente aquellos que tuvieran relevancia a las reglas o normas que restringen la obra que se está trabajando. Las características de los sonidos resultantes fueron clasificados así:

- Voz humana que es violentamente desformada, creando un efecto baconiano y grotesco. Con esto se busca expresar una distorsión perceptiva previa a un episodio convulsivo, con su dinámica y rigidez, seguida de movimientos espasmódicos.
- En un sonido en un contexto mas tranquilo, se utiliza una textura granular que comienza como ruido “arrugado”, irregular que poco a poco se transforma en una voz susurrante que recuerda a una cantante presente en un escenario, pero sin que esta produzca algún sonido.
- Un tercer ejemplo en donde el tiempo cronométrico y el tiempo perceptivo no siempre son la misma cosa y los cuales se utilizan como medio de oposición. En este tipo de tratamiento de señal se otorgan cualidades temporales diferentes a las muestras de las que se va a partir. En esto se recurre al sistema de “mutación-permanencia”, donde una serie de granos de gran tamaño se superponen con una densidad cada vez mayor, pasando de una gran agilidad a una superficie casi continua de la que emergen

pseudo-armónicos similares a los que producen instrumentos de cuerda frotada al hacer *glissandi*. Aunque dada la aparente lentitud de un fragmento como este, éste se percibe como mas rápido de los que es en realidad, debido al impulso que se le puede dar con un *accelerando* que lo precede.

VIII. CONCLUSIONES

Con el trabajo de composición y en particular en una búsqueda de timbres y sonidos para exponer en una obra, se depende de una técnica que debe ser pensada con un objetivo musical. De tal forma que el usuario, ya sea un intérprete o un compositor, pueda tener suficiente control sobre ella. La Síntesis Granular presenta algunos retos de carácter técnico que pueden intimidar. En un principio el uso de marcos de ventana para análisis de un sonido, el nivel de estadística para combinar granos, densidades y secuencias entre otros, además de las interfaces en programas que manipulan este tipo de señal, son de difícil entendimiento y no al alcance de todos. Al mismo tiempo una vez se han descubierto las posibilidades de este método, los resultados son musicales y en muchas ocasiones lo que espera el compositor.

REFERENCES

- [1] Richard Moore. *Elements of Computer Music*. Prentice Hall, New York, USA, 1993.
- [2] Curtis Roads, editor. *The Computer Music Tutorial*. MIT Press, Cambridge MA, USA, 1996.
- [3] Curtis Roads. *Microsound*. MIT Press, Cambridge MA, USA, 2004.
- [4] Barry Truax. Music and science meet at the micro level: Time-frequency methods and granular synthesis. *Musica Viva Conference*, September 2003. Coimbra, Portugal.