

Señales Musicales con Sistemas Dinámicos y Frecuencias Hápticas

Juan Reyes

Artelab, Universidad De Los Andes

Bogotá, Colombia

juanig@CCRMA.Stanford.EDU

Resumen—Este artículo presenta una aproximación para la generación de señales con una aplicación musical utilizando señales de control que varían de acuerdo a frecuencias hápticas y con parámetros estimulados a partir de sistemas dinámicos como el mapa de Henon, el atractor de Lorenz y aplicaciones del filtro Teager. Los conceptos que aquí se exponen están basados en la búsqueda de timbres de sonidos por medio de tratamiento de señal con modelos de síntesis de Audio y de como se puede obtener gestos de expresión musical con señales de control. Estas son función de la interacción entre un intérprete o compositor que trabaja directamente con la señal de Audio o con una interfaz basada en el paradigma del instrumento musical o con el instrumento mismo para ajustar y manipular el timbre que utiliza en una interpretación musical. Ya que esta interacción no siempre es periódica o lineal, sistemas dinámicos no lineales pueden ser una alternativa para general señales de control que se utilicen para crear un gesto musical. El objetivo de este estudio es presentar aplicaciones con caos y sistemas dinámicos no-lineales para manipular varios tipos de señales que se utilizan en un entorno netamente musical.

PALABRAS CLAVE

Audio, Caos, MIDI, Música, Señales, Sistemas Dinámicos

I. INTRODUCCIÓN

El timbre como objetivo en un instrumento musical o como sonido que expresa algún significado no solo es función de la escucha sino también de la interacción con el instrumento y su manipulación. Así mismo una señal de Audio con un contenido musical se ajusta al punto de expresar una cualidad que es percibida en el contexto de este lenguaje. Gracias al poder del procesamiento en tiempo real de señales con una aspiración musical, el computador se ha convertido casi en un instrumento musical. El control de señales en un medio digital es diferente a la manipulación del instrumento real con una simple coincidencia: tanto en los instrumentos como en la señal digital musical los cambios o ajustes al timbre del sonido ocurren a bajas frecuencias entre ($1,0Hz. \leq f_h \leq 30Hz.$), y son conocidas como frecuencias hápticas. En percepción el sentido háptico es la resistencia que imprime un objeto al ser manipulado [6]. La idea al trabajar con este tipo de señales es presentar un tipo de manipulación a señales digitales del tipo de control, concentrándose en sistemas dinámicos no-lineales y sistemas caóticos como el atractor de Lorenz [2], el mapa de Henon [1], [18] y variaciones al filtro Teager con cambios en el tiempo[13]. Otros métodos de este tipo como el mapa de la población, péndulos y bifurcaciones se han utilizado con fines

musical y por ahora son objeto de otra investigación futura. Los cambios ha frecuencias hápticas se logran por medio de interpolación y de normalización a valores que aceptan los parámetros de una interfaz o de un modelos de instrumento musical digital [7].

II. SEÑALES MUSICALES

Existen varios tipos de señales de Audio como una señal de voz hablada o como una señal de sonido. Más específicamente una señal de sonido con componentes definidos por el lenguaje musical como alturas, ritmos, cambios en intensidad o volumen, armonía, etc., puede considerarse como una señal con elementos de expresividad y así denominarse como una señal musical [5]. Una señal musical puede ser generada por instrumentos y grabada en medios magnéticos o digitales para ser editada posteriormente. Este tipo de señal al ser grabada contiene un elemento de expresividad innato e impreso por la ejecución del intérprete o la orquesta [22]. Normalmente este tipo de información de expresión musical se deja intacta y libre de procesos adicionales. Por fines prácticos no se tratarán este tipo de señales grabadas excepto como modelos para lograr gestos de expresión musical en señales producidas digitalmente.

Una señal musical generada electrónicamente es una señal de audio que es lograda a partir de modelos de síntesis de Audio con un circuito electrónico o por tratamiento de señal casi siempre basado en espectros producidos por la transformada de Fourier [24]. Existen varios métodos para lograr una señal musical por medio de síntesis de Audio. El método más básico está basado en el dominio de las frecuencias y ofrece mucha flexibilidad por lo que cada componente espectral puede ser controlado y procesado en forma independiente [16]. Otros métodos para la generación de Audio digital incluyen proceso para formación de ondas o “wavesphaping”. En esta categoría se encuentran la síntesis por Amplitud Modulada, por Frecuencia y Fases Moduladas. Estos procesos son particularmente interesantes por que en su implementación constan de pocas operaciones aritméticas, además de poder manipular el espectro directamente desde el dominio del tiempo.

Adicionalmente existen otras heurísticas para generar señales que incluyen parámetros de expresión como la Síntesis Granular, que está basada en análisis de espectros por medio de onditas [17]. También está la síntesis con Modelos Físicos de

instrumentos acústicos tradicionales o del fenómeno acústico que son la implementación del sistema de operación del instrumento o del medio acústico [25]. El modelo de síntesis en este último caso es función de la excitación de un cuerpo o material elástico que luego se conecta a un cuerpo o cavidad resonadora. Mucho del control con los modelos físicos tiene que ver con la excitación y en un porcentaje menor con el cuerpo resonante.

Recientemente otro tipo de síntesis de Audio ha sido desarrollado teniendo en cuenta la excitación del medio elástico, su rozamiento y su transferencia a otros medios elásticos. Este método se conoce como Síntesis Escaneada [8] está basado en funciones de transferencia que interactúan con medios corrugados a una rapidez no mayor a la de frecuencias hápticas.

III. SEÑALES MUSICALES Y CONTROL

En un sentido más amplio la definición de señal musical se puede extender a señales que no necesariamente tienen que ver con el timbre o contenido espectral de un sonido y por lo tanto con frecuencias de muestreo considerablemente menores. Este tipo de señales normalmente se procesan en el dominio del tiempo y tienen que ver con elementos musicales de carácter más global como duraciones, alturas, sucesiones o melodías, tempo e intensidades [9]. De esta forma cada nota en una partitura representa un vector con información para lograr e interpretar un sonido. La sucesión de varias notas representa una frase con un gesto de expresión musical. La frase o un conjunto de frases en una partitura, se puede considerar como una señal musical por lo que esta señal es portadora de información musical extendida sobre el dominio del tiempo [11]. Otro tipo de señal musical relacionada con la partitura es la señal MIDI en la que cada evento también es un vector con valores numéricos asignados a cada nota, altura, duración, intensidad o volumen. La señal MIDI es efectiva porque hace parte de un protocolo de comunicaciones entre diferentes instrumentos musicales, computadores y demás aparatos relevantes a la interpretación musical con instrumentos electrónicos.

IV. MANIPULACIONES CON SEÑALES DE CONTROL

Pensando en un modelo virtual para la manipulación de un sonido que se convierta en un gesto de expresión musical, hace sentido pensar en la interacción real entre el intérprete y su instrumento. Como base en la mayoría de los instrumentos es un poco complejo obtener cambios en el timbre o en el espectro al menos que se utilicen filtros o sordinas que casi siempre no son parte del diseño original del instrumento. También es útil pensar que el instrumento ejerce algún tipo de resistencia o impedancia con el intérprete. Con cambios a esta impedancia, el intérprete ejerce su control sobre el instrumento para poder ajustar el sonido a un tono deseado. En su mayoría estos cambios afectan al sonido en el dominio del tiempo transformando y manipulando la excitación, el ataque, el desarrollo y el desvanecimiento de la duración total del sonido. En situaciones estos cambios son de carácter lineal pero en muchas ocasiones también puede producirse de un orden asimétrico. En realidad en el ataque de un sonido

aparecen componentes no-lineales que se estabilizan en el desarrollo para volver a desestabilizarse al desvanecimiento final. La destreza para controlar estos momentos indeterminados al lograr un sonido musical marcan el nivel de virtuosismo en la ejecución de un instrumento [10].

Por lo tanto para que una señal digital tenga la connotación de natural en alguno de sus puntos o segmentos, debe contener un elemento impredecible. Esto se aplica tanto a señales de Audio, MIDI e inclusive a señales con información para aplicaciones con partitura tradicional. La razón estética de este componente poco predecible es que crea tensiones que deben resolverse y esto trasciende en variedad del material musical. Posibles candidatos para modelar estas variables no-lineales incluyen métodos estocásticos, redes neuronales y sistemas dinámicos que se aplican a la envolvente del tiempo en una señal musical.

Los parámetros de expresión musical que pueden ser procesados con caos y sistemas dinámicos son del tipo de *trémolos* y *vibratos* en una señal de Audio y de *alturas* y *duraciones* en una señal MIDI. En el caso de síntesis por Fourier, Modelos Físicos o FM, la transformación no-lineal puede ser lograda con buenos resultados en la envolvente del tiempo ya sea en el segmento de la excitación, en todo el ataque o hacia el final de la duración. Sin embargo dependiendo del sistema caótico, también puede ser efectiva en el desarrollo del sonido. En síntesis FM y demás parientes no solo es posible aplicar señales caóticas en el dominio del tiempo sino también aplicarlas a la generación de espectros. Con síntesis granular puede ser un poco más complejo aunque varias composiciones se ha logrado satisfactoriamente [26]. La Síntesis Escaneada es un caso especial porque en cualquiera de sus procesos se puede aplicar algún tipo de caos y la señal resultante casi siempre es periódica [15]

V. SEÑALES MUSICALES CON SISTEMAS DINÁMICOS

Aplicaciones de sistemas caóticos en música no son una novedad reciente. Desde los años ochenta han encontrado algún lugar en las diferentes categorías de señales musicales antes mencionadas e inclusive han sido utilizadas en campos paralelos como las psico-acústica y la percepción musical [4]. En el campo de composición musical y específicamente para señales relacionadas con la generación de una partitura, el uso de sistemas dinámicos ofrece un atractivo especial adscrito a la posibilidad de crear variaciones a una melodía o secuencia musical [2], y también a la posibilidad de crear sucesiones de notas con intervalos indeterminados. Un intervalo es la diferencia tonal que existe entre cada una de las notas en una sucesión de alturas en las notas de una frase o melodía.

Utilizando las condiciones iniciales apropiadas un sistema dinámico como por ejemplo, el mapa de Henon, puede generar una sucesión de notas con alto nivel de variabilidad [3]. El nivel de indeterminación en una señal es interesante por que crea diferentes contrastes con las tensiones en la secuencia de una melodía en una señal musical como se había expresado anteriormente. Formas para disparar las condiciones iniciales de un sistema dinámico también son diversas e influyen en la interacción con la señal musical. Por ejemplo, cuando se

utiliza una melodía existente como podría ser el Preludio en Do-menor del clave bien temperado, el mapeo de cada nota a las condiciones iniciales del sistema caótico genera nuevas variaciones basadas en el preludio original de Bach [2].

Otra posibilidad para escoger las condiciones iniciales del sistema, podría ser activando las teclas en un teclado electrónico interconectado al computador por medio del protocolo MIDI. Con este esquema en el computador existe un programa con posibilidades de entrada y salida de señales MIDI más el algoritmo con la función del sistema dinámico. Existen varios paquetes de software a descargar y de código abierto que ofrecen esta funcionalidad de tratamiento de señales musicales. Aunque su operación depende si es para tratamiento de Audio, de señales MIDI o de ambas. Improv [19], ofrece programación y procesamiento de señales MIDI. STK [20], Pd [12] y Csound [27], ofrecen programación y manipulación de señales de Audio que se combinan con MIDI. Siendo el caso en esta aplicación, la señal MIDI casi siempre controla la señal de Audio. Por esta razón es importante ilustrar las especificaciones básicas de una señal MIDI y su relación con la partitura musical.

VI. SEÑALES MIDI

Técnicamente una señal MIDI es una cadena de instrucciones basadas en palabras de 8-bits. Estas instrucciones viajan en una dirección solamente siempre del lugar donde han sido disparadas al otro extremo donde activan algún evento de acuerdo al listado de eventos asociados al protocolo MIDI. Para fines de este artículo es suficiente utilizar eventos MIDI como *'noteNumber'*, que se asocia a las alturas, el *'noteOn'*, que dispara una nota y su contra parte el *'noteOFF'* que la apaga, además del *'keyVelocity'* que es el volumen de la *'nota'* MIDI. El *cuadro-1*, muestra asociaciones entre los números de notas MIDI y las notas en una partitura tradicional que van del $0 \rightarrow 127$. Por lo tanto un vector de una nota en una señal MIDI se puede definir como: $\vec{\mu}_m = \{noteNumber, noteOn, noteOFF, keyVelocity\}$. Nótese que la diferencia de activación entre el *note-off* y el *note-on*, es la duración total del evento MIDI, en muchos casos un sonido.

VII. POSIBILIDADES CON SISTEMAS DINÁMICOS

El caos en un sistema dinámico no-lineal se define como un nivel cuantificables de orden impredecible. Este orden se puede apreciar en trayectorias (sucesiones) que en el caso de señales musicales, son función del tiempo. Con fines musicales se ha experimentado con el mapa de Henon, el atractor de Lorenz [1] y aplicaciones con sistemas dinámicos al filtro Teager [13]. Resultados satisfactorios desde el punto de vista de percepción musical y estético, se obtienen al reiterar la ecuación en cada uno de estos sistemas para ser mapeados a valores de notas MIDI [18]. Además el mapa de Henon, un atractor de Lorenz restringido y Teager han sido utilizados para manipular ataques y desarrollos en el dominio del tiempo en señales de Audio.

Al calcular los valores de un sistema dinámico se utilizan las ecuaciones características en las que un nuevo valor se obtiene

Partitura:	do2	do#2	re2	re#2	mi2	fa2
Nota-MIDI:	48	49	50	51	52	53
Partitura:	fa#2	sol	sol#2	la2	la#2	si2
Nota-MIDI:	54	55	56	57	58	59
Partitura:	do3	do#3	re3	re#3	mi3	fa3
Nota-MIDI:	60	61	62	63	64	65
Partitura:	fa#3	sol	sol#3	la3	la#3	si3
Nota-MIDI:	66	67	68	69	70	71
Partitura:	do4	do#4	re4	re#4	mi4	fa4
Nota-MIDI:	72	73	74	75	76	77
Partitura:	fa#4	sol	sol#4	la4	la#4	si4
Nota-MIDI:	78	79	80	81	82	83

TABLE I

ASOCIACIÓN DE NUMEROS DE NOTAS MIDI A NOTAS DE LA ESCALA EN UNA PARTITURA TRADICIONAL EN LAS TRES OCTAVAS CENTRALES. LOS NUMEROS DESPUÉS DE LOS NOMBRES DE CADA NOTA EQUIVALEN A LA OCTAVA. LA OCTAVA DEL DO-CENTRAL ES LA 3. LOS NUMEROS DE LAS NOTAS MIDI VAN DE: $0 \rightarrow 127$.

a partir de una función con valores presentes y pasados (i.e. los valores de salida se convierten en los valores de entrada). Al reiterar la ecuación varias veces se obtienen valores que pueden ser periódicos, cuasi-periódicos y caóticos. Cada sucesión de valores se denomina como órbita del sistema. Dado que el conjunto de condiciones iniciales en estos sistemas dinámicos puede ser infinito, sus soluciones también son infinitas. Por lo tanto es importante y de mucha sensibilidad escoger un conjunto de condiciones iniciales adecuado para que las órbitas converjan, no tiendan a infinito o para que el sistema no sea periódico después de pocas reiteraciones.

El mapa de Henon posee cierto atractivo desde el punto de vista de composición porque tiene características de similaridad propia, soluciones cuasi-periódicas y porque es un sistema en dos dimensiones que se puede mapear con relativa facilidad a alturas y notas MIDI con un parámetro adicional que se podría utilizar o con el volumen y el ritmo. El atractor de Lorenz con parámetros $\sigma = 10,00$, $b = 8/3$, y $r = 28,00$, ofrece variaciones con trayectorias interesantes para intervalos de tiempo menores al mapa de Henon. Esto implica que para aproximarse a regiones cuasi-periódicas se requiere un mayor número de reiteraciones. Con diferentes conjuntos de condiciones iniciales este sistema no es tan sensible a una tendencia al infinito y demora en llegar a sus valores de atracción. Además los cambios de un valor a otro no son saltos muy grandes, lo que permite cierto control en la secuencia de intervalos de la señal musical. Utilizando diferentes conjuntos de condiciones iniciales, el atractor de Lorenz ofrece gran variabilidad y flexibilidad en el momento de composición con valores de caos.

El sistema dinámico basado en el filtro de Teager [14] produce una región periódica más una región caótica pero también es sensible a las condiciones iniciales. Para fines musicales se ha pensado que este sistema es apropiado para variaciones de parámetros en función del tiempo a frecuencia hápticas, para *vibratos* y *tremolos* cuasi-periódicos y también

para modular señales portadores en síntesis de Audio por Frecuencia Modulada [21].

VIII. SEÑALES MIDI CON SISTEMAS DINÁMICOS

- El Mapa de Henon:

El mapa de Henon por estar en dos dimensiones se define con las siguientes ecuaciones características:

$$X_{[n+1]} = AX_{[n]}^2 + BY_{[n]},$$

$$Y_{[n+1]} = X_{[n]}.$$

La siguiente ecuación es útil para normalizar y mapear los resultados del mapa de Henon a valores MIDI:

$$notaMIDI = floor\left\{\frac{(x + 1)}{2}(127 + d)\right\},$$

donde x son los resultados del mapa Henon y d una constante entre $[0$ y $0,99]$. Utilizando las condiciones iniciales $a = -1,85039; b = 0,00393701.$, y $x = 0,63135448; y = 0,18940634.$, el mapa de Henon produce siguiente secuencia para señal MIDI:

$$S_1 = \{79, 110, 44, 101, 72, 115, 27, 63, 116, 24, 53, 111, 43, 99, 76, 113, \dots\}.$$

Con $a = -1,56693; b = -0,011811.$, $x = 0,63135448$ $y = 0,18940634.$, se produce otra secuencia diferente con los siguientes valores:

$$S_2 = \{85, 105, 68, 116, 39, 94, 92, 95, 90, 98, 84, 106, 67, 116, 38, 93, \dots\}.$$

Esta señal S_2 , produce una serie de intervalos interesante después de la nota MIDI 94. La señal MIDI S_1 , tiene saltos e intervalos muy grandes y no es tan deseable para líneas melódicas.

Finalmente con $a = -1,01; b = -0,09.$, y $x = 0,00; y = 0,00.$, logramos una señal muy periódica de la siguiente forma:

$$S_3 = \{117, 65, 112, 74, 111, 75, 111, 75, 111, 76, 111, 76, 111, 76, 111, 76, \dots\}.$$

Nótese la repetición de la nota MIDI 111. La *figura-1* muestra una comparación con estos tres conjuntos de condiciones iniciales pero con 100 reiteraciones.

- El Atractor de Lorenz:

Por ser un sistema caótico en tres dimensiones el atractor de Lorenz está definido por tres ecuaciones diferenciales:

$$\dot{X} = \sigma(y - x),$$

$$\dot{Y} = Rx - y - xz,$$

$$\dot{Z} = xy - Bz,$$

donde los parámetros σ, R, B son constantes con valores positivos y en donde $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$, son las primeras derivadas respecto a un intervalo de tiempo dt . Utilizando el método de integración de Euler, estas ecuaciones diferenciales pueden ser utilizadas en algoritmos en la siguiente forma:

$$\dot{x} = \sigma(y - x),$$

$$\dot{y} = Rx - y - xz,$$

$$\dot{z} = xy - Bz,$$

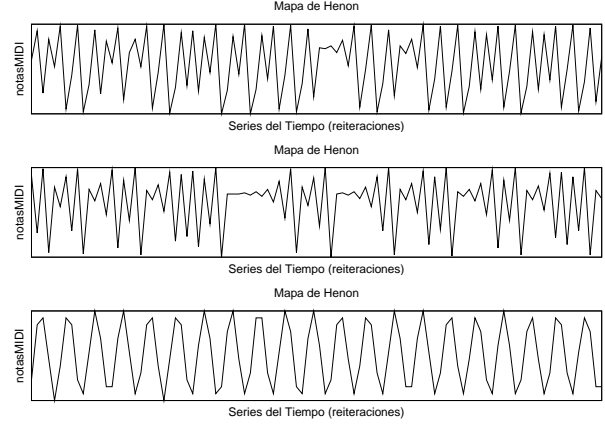


Fig. 1. Señales Musicales del tipo MIDI a partir del mapa de Henon que pueden ser utilizadas en una melodía. Nótese que la primera y segunda señales son cuasi-periódicas con la primera siendo más caótica. La tercera señal tiende a ser periódica.

donde,

$$x = x + (\dot{x}dt),$$

$$y = y + (\dot{y}dt),$$

$$z = z + (\dot{z}dt).$$

Con las siguientes condiciones iniciales del atractor de Lorenz: $CI_1 = \{(0,00,0,50,1,0) dt=0,01\}$, $CI_2 = \{(0,00,0,125,0,250) dt=0,02\}$, $CI_3 = \{(1,0,1,0,1,0) dt=0,01\}$, los resultados de las tripletas (x, y, z) , pueden ser asociadas a un vector de una señal MIDI con *altura*, *duración* y por ejemplo cantidad de *vibrato*. Ejemplos comparativos con el atractor de Lorenz pueden verse en la *figura-2*.

- Sistema Dinámico no-lineal basado en el Filtro Teager: El filtro de Teager está dado por la siguiente ecuación característica:

$$Y_{[n]} = X_{[n]}^2 - (X_{[n-1]})(X_{[n+1]}).$$

En esta ecuación el valor presente es función de valores pasados y futuros. Al despejar el estado futuro en términos de los valores pasados y futuros se obtiene:

$$X_{[n+1]} = \frac{X_{[n]}(X_{[n]} - 1)}{X_{[n-1]}}.$$

Para obtener resultados de utilidad musical es necesario limitar los valores de $X_{[n-1]}$, entre $[-1,9$ y $0,5]$. La *figura-3* muestra una señal con condiciones iniciales $CI_t = \{x_{[n-1]} = 1,0, x_{[n]} = -1,250\}$, utilizando el sistema de Teager.

IX. SEÑALES DE CONTROL CON CAMBIOS A FRECUENCIAS HÁPTICAS

Retomando el tema de las señales de control con cambios a frecuencias hápticas aplicadas a una señal discreta de Audio,

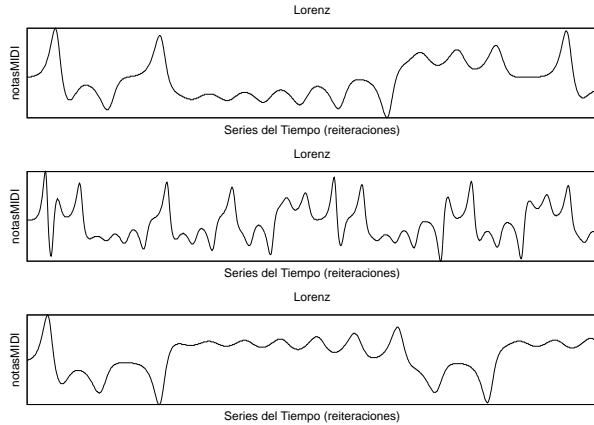


Fig. 2. Comparación de señales MIDI basadas en el atractor de Lorenz que pueden ser utilizadas como melodía y variaciones. La señal del medio parece delinear un período. Las señales de arriba y abajo muestran regiones con poco variabilidad aunque en los extremos tienden a regiones impredecibles. Las condiciones iniciales son: $CI_1 = \{(0,00, 0,50, 1,0, dt = 0,01)\}$, $CI_2 = \{(0,00, 0,125, 0,250) dt = 0,02\}$, $CI_3 = \{(1,0, 1,0, 1,0), dt = 0,01\}$,

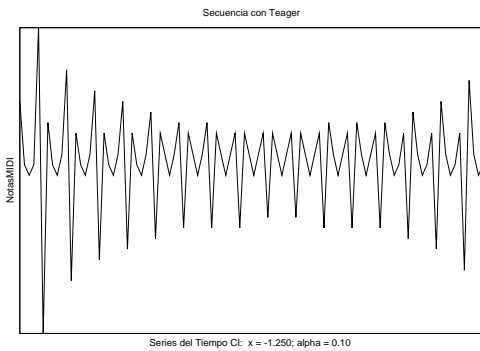


Fig. 3. Aquí se presenta una melodía generada con el sistema dinámico basado en el filtro de Teager. Esta señal es cuasi-periódica aunque muestra patrones que podrían ser utilizados como una señal de control a una señal de Audio. Las condiciones iniciales para esta señal son : $CI_t = \{x_{[n-1]} = 1,0, x_{[n]} = -1,250\}$.

es fácil notar que estas variaciones ocurren en un segmento de tiempo mayor a cambios en la frecuencia de muestreo de la señal de Audio. Una buena opción para estos segmentos podría aproximarse alrededor de $\frac{ST}{2000}$ o $\frac{ST}{4000}$, . Esto permite modificar la señal de Audio con envolventes en el tiempo utilizando varios esquemas de interpolación entre la señal de control, entre la señal de control háptica y la señal de Audio. Una explicación de estos esquemas de interpolación está fuera del contexto de este artículo pero información al respecto puede encontrarse en [23].

Al aplicar estos intervalos de tiempo a incrementos en las señales producidas por los sistemas dinámicos antes descritos, se puede obtener una señal de control háptica más natural y parecida a la utilizada por un intérprete en la ejecución de su instrumento. En este caso y con fines de demostración se han

utilizado modelos de síntesis de Audio que generan uno o más componentes sinusoidales, aplicando los cambios en la señal háptica con características caóticas, a cambios en la amplitud o intensidad del sonido. Con esto se logra un gesto de expresión como el *tremolo*. También la señal de control del sistema dinámico no-lineal se puede aplicar a cambios en la frecuencia o altura del fundamental de un sonido. Para este entorno se ha utilizado el sistema basado en el filtro Teager. La *figura-4* muestra un espectro de una señal con generada a partir de Frecuencia Modulada (FM), con frecuencias constantes para la portadora y moduladora.

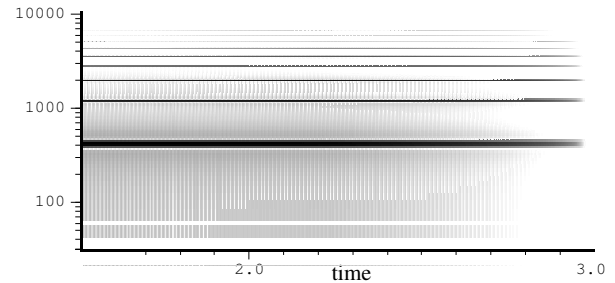


Fig. 4. Esta figura muestra el espectro de una señal de audio generada con síntesis Audio FM. En esta se notan parciales o bandas bien definidas que se generan con tan solo modular un frecuencia portadora que no necesariamente es fundamental en este espectro. La banda fundamental está alrededor de los $800Hz$, con bandas superiores a los $1000Hz$. Sistemas no-lineales pueden hacer que estas bandas no sean líneas rectas constantes y más variabilidad.

Si los cambios en la señal de control ocurren con tasas mayores a la frecuencia háptica $f_h \geq 30Hz$, la señal de control se convierte en señal moduladora y puede ser utilizada para cambios en el dominio del espectro adicionando parciales alrededor de una frecuencia fundamental. Utilizando el método de Teager con algunos cambios en sus condiciones iniciales se pueden lograr espectros modificados con bandas laterales. La *figura 5*, es un espectro partir de síntesis de Audio por Frecuencia Modulada pero con variaciones en la señal moduladora.

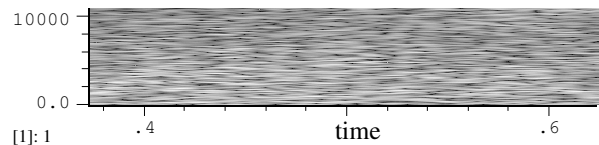


Fig. 5. Esta señal es generada a partir de sistemas dinámicos no lineales que modulan una frecuencia portadora.

X. CONCLUSIONES

Se han presentado varias aplicaciones a un tipo de señal denominada como señal musical. Aunque una señal musical puede estar descrita por una señal de Audio, también existen otro tipo de señales musicales como la señal MIDI. Con fines técnicos , abstracciones musicales en forma de partitura tradicional, también pueden asociarse a una señal musical. En una interpretación musical el sonido no solo es función del espectro sino también de gestos que se aplican por medio de

una señal de control. Los cambios en gestos de expresión musical normalmente ocurren a frecuencias hápticas. Señales de control con información musical son señales cuasi-periódicas que crean tensiones que trascienden en variedad musical. Sistemas no-lineales y caos pueden ser aplicados a envolventes en el dominio del tiempo, a señales de Audio, aunque también a señales de control ofreciendo otros esquemas de interpretación y composición musical.

XI. TRABAJO FUTURO

Partiendo de resultados obtenidos en esta investigación se puede pensar en aplicaciones de este tipo de señales de control no-lineales a esquemas de excitación en Modelos Físicos como por ejemplo en el filtro de la embocadura de los labios en modelos de instrumentos de cobre o a chorros en la embocadura de un modelo de flauta. Además se puede pensar en los coeficientes de fricción en el modelo de cuerdas frotadas de la familia del violín. Los instrumentos de percusión también pueden ser buenos candidatos porque en las membranas o en barras temperadas, la dispersión de energía no siempre es lineal.

REFERENCIAS

- [1] Rick Bidlack. Chaotic systems as simple (but complex) compositional algorithms. *Computer Music Journal*, 16(3), 1992.
- [2] D S Dabby. Musical variations from a chaotic mapping. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 6(2):95–107, June 1996.
- [3] Bradley E. and J. Stuart. Using chaos to generate choreographic variations. In *Proceedings of the Experimental Chaos Conference*, August 1997.
- [4] Neil Birbaumer et al. Perception of music and dimensional complexity of brain activity. To appear in: *Intl. Journal of Bifurcations and Chaos*.
- [5] Sarti A. G. Borin, G. De Poli. *Musical Signal Synthesis*, chapter Musical Signal Processing. Routledge, June 1997.
- [6] Brent Gillespie. *Music, Cognition, and Computerized Sound : An Introduction to Psychoacoustics*, chapter 18, Haptics, pages 229–245. MIT Press, 1999.
- [7] Brent Gillespie. *Music, Cognition, and Computerized Sound : An Introduction to Psychoacoustics*, chapter 19, Haptics in Manipulation, pages 247–260. MIT Press, 1999.
- [8] Bill Verplank Max Mathews and Robert Shaw. Scanned synthesis. *Proceedings of ICMC Berlin*, 2000.
- [9] M. Sile O’Modhrain and Chafe Chris. Incorporating haptic feedback into interfaces for music applications. In *Proceedings of ISORA, World Automation Conference 2000*, 2000.
- [10] Sile O’Modhrain and Brent Gillespie. The moose: A haptic user interface for blind persons. Technical Report Report No. Stan-M95; CCRMA, Stanford University, 1995.
- [11] John Pierce. *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals and Noise*. Dover, second edition edition, 1980.
- [12] Miller Puckette. http://circa.ucsd.edu/~mmsp/Pd_documentation/.
- [13] Román Carlos. Alfredo Restrepo. Aplicaciones musicales del filtro teager. In *X Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial*. STSIVA, Universidad del Valle, 2005.
- [14] Amarillo C. Restrepo A. The roots signals of teager’s filter. In *Proc. IEEE Eurasip NSTP 01*. IEEE, 2001.
- [15] Juan Reyes. Háptica y sonido: Introducción a la síntesis escaneada. <http://www.maginvent.org/articles/hapticscan/index.html>.
- [16] Jean C Rissett. and Max Mathews. Analysis of instrumental tones. *Physics Today*, 1969a.
- [17] Curtis Roads. *Microsound*. MIT Press, Septmeber 2004.
- [18] Craig Stuart Sapp. Henon map melody generator. <http://henon.sapp.org/>.
- [19] Craig Stuart Sapp. Improv: Computer/performer interaction programming with midi in c++. <http://improv.sapp.org/>.
- [20] Gary Scavone. and Perry Cook. The synthesis toolkit in c++ (stk). <http://ccrma.stanford.edu/software/stk/>.
- [21] Bill Schottstaedt. An introduction to fm. <http://ccrma.stanford.edu/software/snd/snd/fm.html>.
- [22] Xavier Serra. Spectral modeling synthesis: Past and present. In *Proceedings of DAFX London*, 1993.
- [23] Julius O. Smith III. Digital audio resampling home page. <http://ccrma.stanford.edu/jos/resample/>.
- [24] Julius O Smith III. Mathematics of the discrete fourier transform (dft). <http://ccrma.stanford.edu/jos/mdft/>.
- [25] Julius O Smith III. Discrete-time modeling of acoustic systems with applications to sound synthesis of musical instruments. In *Proceedings of the Nordic Acoustical Meeting, Helsinki*, pages pp. 21–32, 1996.
- [26] Barry Truax. Chaotic non-linear systems and digital synthesis: an exploratory study. In *Proc. of International Computer Music Conference (ICMC) Glasgow*, pages 100–103. ICMA, 1990.
- [27] Barry Vercoe. The canonical csound reference manual. <http://www.csounds.com/manual/html/>.