

Introducción a Modelos Espectrales

Elementos Básicos

Juan Reyes

juanig@Maginvent.ORG

artElab

Modelos Espectrales

- Modelos de Instrumentos Musicales (Modelos Físicos)
- Modelos del Espectro
- Modelos Abstractos

Modelos de Instrumentos

- Modelos Físicos:
 - Describen el sonido a partir de parámetros mecánicos y acústicos
 - Ejemplos: Cuerda pulsado, Maracas, Flauta, Etc.

Modelos Abstractos

- A partir de una formula abstracta
- Ejemplos:
 - Síntesis FM
 - Modulación de Anillo
 - FOF

Modelos Espectrales I

- Basados en el espectro (STFT)
- Se extraen las características de un sonido real
- Componentes sinusoidales (A, ω, ϕ) .
- Reproducción del sonido original y transformaciones

Modelos Espectrales II

- Dependenden de un método de análisis y síntesis
- Síntesis aditiva
- Transformaciones

Procedimiento de Análisis

- Estudia características del sonido en función del tiempo
- La representación del sonido es por medio de sumas de sinusoidales

Un sonido está dado por sus componentes determinísticos y residuales

Análisis Espectral

- Componente determinístico:
 - Fundamental (+) Armónicos
 - Tono estable en el sostenimiento y desvanecimiento
- Componente Residual:
 - Es la resta del espectro total menos lo determinístico
 - Ruido blanco filtrado, función del tiempo
 - Normalmente en los ataques
- Ejemplos: rozamientos, resistencia en las boquillas, etc.

Síntesis Re-síntesis

- Reproducción
- Transformaciones:
 - Expansión, Compresión del tiempo
 - Transposición de alturas (frecuencias)
 - Atenuación

STFT-1

La transformada de Fourier (STFT), se usa para el análisis del componente determinístico de acuerdo a los siguientes pasos:

STFT-2

- -1- Leer M muestras de la señal de entrada y almacenar en un arreglo.

$$x_m(n) \triangleq x(n - mR), \quad n = -M_h, -M_h + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, M_h - 1, M_h$$

donde x_m , es el M_{avo} cuadro de la señal de entrada y $M \triangleq 2M_h + 1$, es el tamaño del cuadro. R , es el salto *hop-size* y corresponde al intervalo de avance en el tiempo.

STFT-3

- -2- Multiplicar el cuadro $x_m(n)$, por una ventana de análisis de longitud M . para obtener el M_{avo} cuadro,

$$\hat{x}_m(n) \triangleq x_m(n)w(n), \quad n = \frac{-(M-1)}{2}, \dots, \frac{M-1}{2},$$

STFT-4

- -3- Extender \hat{x}_m , en cada extremo para obtener un cuadro de análisis parcha-do con ceros.

$$\hat{x}'_m \triangleq \begin{cases} \hat{x}_m, & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0, & \frac{M-1}{2} < n \leq \frac{n}{2} - 1 \\ 0, & \frac{n}{2} \leq n < -\frac{M-1}{2} \end{cases}$$

donde N es el tamaño de la FFT.

STFT-5

- -4- Sacar la FFT de tamaño N de \hat{x}'_m .

Para obtener la STFT en el instante m :

$$\hat{x}'(e^{j\omega_k}) = \sum_{n=N/2}^{N/2-1} \hat{x}'_m(n) e^{-j\omega_k n T}$$

donde $\omega_k = 2\pi k f_s / N$ y $F_s = \frac{1}{T}$, es la frecuencia de muestreo. k , es el numero de bin.

STFT-6

- Cada bin $\hat{x}'_m(n)e^{-j\omega_k nT}$ de la STFT se puede tomar como una muestra de la señal compleja en la salida de un filtro pasa-bajos cuya entrada es: $\hat{x}'_m(n)e^{-j\omega_k nT}$.
- El factor de parcha-do con ceros es el factor de interpolación del espectro. Por lo tanto cada *bin* en la FFT se reemplaza por N/M *bins* del espectro interpolado.

Phase Vocoder

- -5- Convertir cada bin de la FFT $\hat{x}'(e^{j\omega_k})$ de forma rectangular a polar para obtener la magnitud y la fase. Posteriormente diferenciar la fase para obtener la frecuencia instantánea.

$$A_k(m) \triangleq \left| \hat{x}'(e^{j\omega_k}) \right|$$

$$\Theta_k(m) \triangleq \angle \hat{x}'(e^{j\omega_k}), \text{ radianes}$$

$$F_k(m) \triangleq \frac{\Theta_k(m) - \Theta_k(m - 1)}{2\pi RT}$$

Síntesis Aditiva-1

Para obtener los parámetros para las envolventes de control en cada oscilador, las trayectorias de amplitud, frecuencia y fase son estimadas en cada salto (*hop*) de la FFT por la STFT.

- Las trayectorias se interpolan linealmente de un *hop* al otro
- -6- Aplicar cualquier modificación deseada a los datos del análisis como: Compresión y expansión del tiempo, transposición de alturas, modificación de formantes

Síntesis Aditiva - 2

- -7- Usar las trayectorias de frecuencia y amplitud (posiblemente modificadas) para controlar un banco de osciladores:

$$\begin{aligned}\hat{x} &\triangleq \frac{1}{N} \sum_{k=-N/2+1}^{N/2-1} A_k(n) e^{j\hat{\theta}_k(n)} \\ &= \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{n}{2}-1} A_k(n) \text{Cos}(\hat{\theta}_k(n))\end{aligned}$$

Características del Algoritmo

- Reducción de datos con STFT apropiados para señales in-armónicas, cuasi-sinusoidales.
- La meta es seguir los picos prominentes en la señal de entrada.
- Para ésto se muestrea la amplitud una vez por periodo tomando la frecuencia mas baja en la banda de análisis.
- Este modelos asume que los sinusoides son parciales estables en el desarrollo de un sonido y que cada uno cambia lentamente en amplitud y frecuencia

Parte del residuo

Si asumimos que $e(t)$, es una señal estocástica, esta puede describirse como ruido blanco filtrado,

$$e(t) \triangleq \int_0^t h(t, \tau) u(\tau) d\tau$$

donde $u(\tau)$, es ruido blanco y $h(t, \tau)$, es la respuesta de un filtro cambiando función del tiempo con un impulso en el instante t .

- *Es decir, el residuo se modela con la convolución de ruido blanco con un filtro variador de frecuencia en el tiempo.*

VARIABLES PARA EL ANÁLISIS

Para calcular la STFT se utilizan los siguientes parámetros especificados por el usuario:

- Tamaño del cuadro de análisis (frame size)
- Tipo de ventana
- Tamaño de la FFT
- Duración (avance) del salto (hop-size)

Ventanas de Análisis

- La selección de una ventana de análisis es importante.
- Determina el sacrificio de resolución entre tiempo y frecuencia.
- La ventana afecta la exactitud al detectar los picos de frecuencia en un espectro.

Efecto de la ventana de análisis-1

- Un senoide complejo de la forma $x(n) = Ae^{j\omega_x nT}$, al pasarse por una ventana se transforma en,

$$X_\omega(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)w(n)e^{-j\omega nT}$$

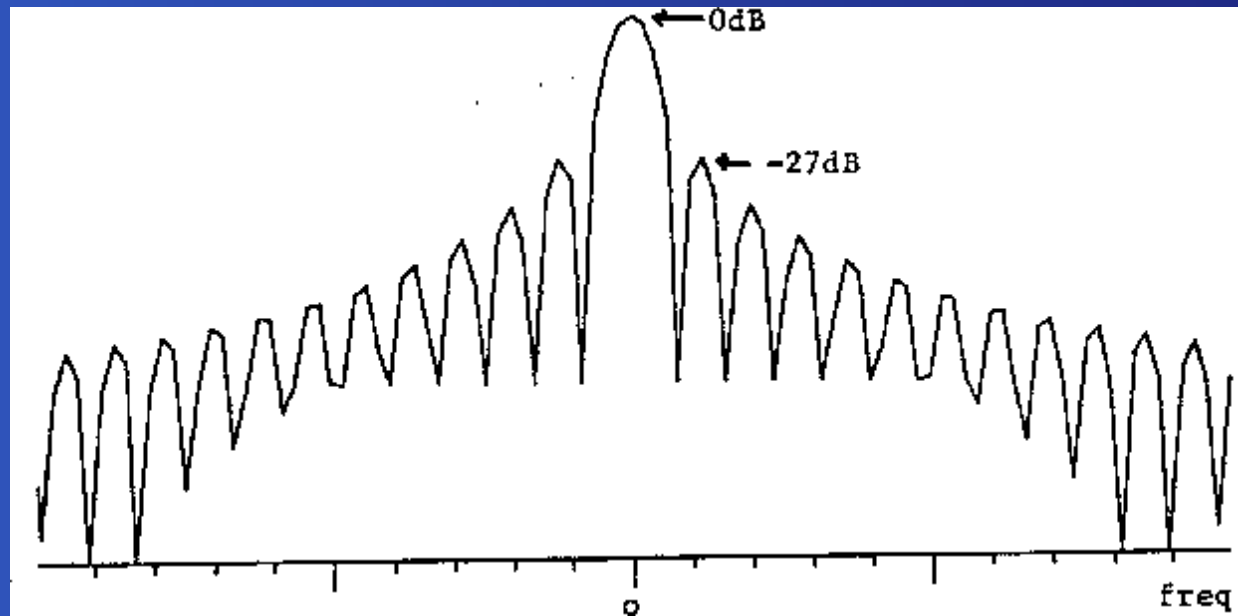
$$= A \sum_{n=\frac{-(M-1)}{2}}^{\frac{M-1}{2}} w(n)e^{-j(\omega-\omega_x)nT}$$

$$= AW(\omega - \omega_x)$$

Efecto de la ventana de análisis-2

- La transformada de un senoide pasado por una ventana es la transformada de la ventana multiplicada por la amplitud del senoide y centrada en la frecuencia del mismo.

Ejemplo de Ventana de Análisis



Hop size (salto)

- Otro punto en cuestión relacionado con la ventana de análisis es el tamaño del hop.
- Cuanto tiempo se puede avanzar en la duración del tiempo de análisis de cuadro a cuadro.
- Depende de los propósitos del análisis
- Mayor número de cruces (overlap) mayor número de puntos de análisis y resultados mas claros en el tiempo.
- Depende del tipo de ventana.

Tamaño de la FFT

El tamaño de la FFT normalmente se escoge como la primera potencia de 2 que es el doble de la longitud de la ventana M , con una diferencia $N - M$, parchada con ceros.

- La razón de incrementar el tamaño de la FFT y llenarla con ceros es porque parcheo con ceros en el tiempo corresponde a interpolación en las frecuencias.
- Un espectro que se interpola puede ser de utilidad en varias formas.

Continuidad de Picos

- Una vez que los picos han sido calculados, un algoritmo de continuidad de picos los adiciona a las trayectorias correspondientes.
- Este algoritmo posee conocimiento del sonido que se está analizando.
- El algoritmo consiste en un conjunto de guías o pistas que avanzan en el tiempo escogiendo el pico apropiado.

Archivo con datos del análisis

- Un archivo con datos del análisis consta principalmente de un conjunto de amplitudes \hat{A}^m , frecuencias $\hat{\omega}^m$, y fases $\hat{\theta}^m$, para cada índice m de cada cuadro por cada pista en el dominio del tiempo.
- Este archivo sirve para reproducir por medio de síntesis la señal original.
- El archivo sirve para lograr transformaciones.

Aplicaciones -1

Al generar un sonido musical por medio de una computadora hay que pensar en un modelo de sonido cuyos parámetros proveen una fuente rica de variaciones significativas.

- Es aconsejable tener conocimiento a-priori del sonido que se quiere analizar, sintetizar y transformar para aplicar los valores correctos en el momento del análisis.
- Un buen análisis produce buenas transformaciones.

Aplicaciones -2

Hay que distinguir entre diferentes tipos de señales, instrumentos, sinusoidales, quasi-armónicos, no temperados, voz, etc.

- Las aplicaciones mas populares de éste método son:
 - Cambios en amplitud de los parciales
 - Cambios de altura de los parciales
 - Cambios en el ancho de banda de los formantes
 - Compresión o expansión de la duración de todo el espectro o cada parcial.

Conclusiones

- Modelos Espectrales producen resultados interesantes y con aplicación musical.
- Los Modelos Espectrales son una descripción para-métrica y pueden ser utilizados como *tema y variaciones* en composición musical.
- La separación de los componentes de residuo y determinístico tiene ventajas al re-sintetizar el sonido y en las transformaciones.
- Esta metodología no es un sistema intuitivo y requiere conocimiento de acústica y señales.