Transformada de Fourier - Representación de señales de sonido

Martín, Tomás

Estudiante de Ingeniería Electrónica
Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina
Tomymartin2425@gmail.com
Marzo 2015

Resumen: En la siguiente nota explicaremos de manera sencilla, como a traves de la Transformada de Fourier (TF) es posible representar una señal, en este caso, de sonido. La TF es la herramienta matemática que nos permitirá pasar de una representación en el dominio temporal a una representación en el dominio frecuencial. Además veremos como representar la evolución de la amplitud de las distintas frecuencias a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Transformada de Fourier, señal de sonido, dominio temporal, dominio frecuencial.

I. INTRODUCCIÓN

La noción de señal es bastante amplia y aparece en diferentes situaciones en las cuales ciertas cantidades de una magnitud física o de otra naturaleza varían en el tiempo o en el espacio. Por lo tanto está ligada al concepto de función.

Muchas veces, es muy importante expresar estas señales de tal manera de poder analizarlas y manipularlas para desarrollar sistemas dinámicos que requieren distintas áreas como lo son la de: comunicaciones, ingeniería mecánica y de control, de procesamiento de imágenes, de medicina, entre otras. Un claro ejemplo de estas señales es el sonido, el cual es muy utilizado en todo tipo de artefactos electrónicos, y para ello requiere previamente de un gran desarrollo de técnicas para su manipulación, donde la transformada de Fourier cumple un rol muy importante.

II. REPRESENTACIÓN TEMPORAL

Un método simple de representación de una señal sonora es dibujarla en una gráfica dependiente del tiempo. Esta representación se denomina representación en el dominio temporal. En este caso, representamos la evolución de la amplitud (de la magnitud que medimos: presión, voltaje, etc.) respecto al tiempo. En el caso del sonido, la amplitud representa la variación de la presión atmosférica respecto al tiempo. En general, la amplitud se representa a partir del valor 0 (posición de equilibrio o valor medio de la presión) hasta el punto de máxima amplitud de la forma de onda.

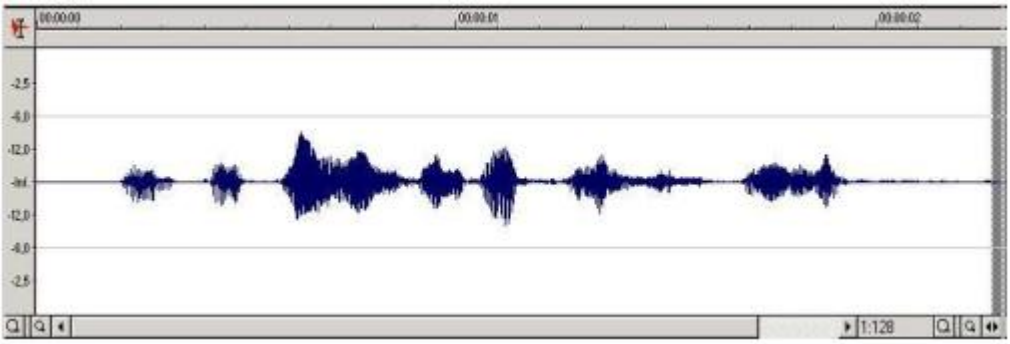

Figura 1: Representación de una señal en el dominio temporal.

III. REPRESENTACIÓN FRECUENCIAL

La representación frecuencial captura las características espectrales de una señal de audio. Además de la frecuencia fundamental, existen muchas frecuencias presentes en una forma de onda. Una representación en el dominio frecuencial o representación espectral muestra el contenido frecuencial de un sonido. Las componentes de frecuencias individuales del espectro pueden denominarse armónicos o parciales. Las frecuencias armónicas son enteros simples de la frecuencia fundamental. Cualquier frecuencia puede denominarse parcial, sea o no

múltiplo de la frecuencia fundamental. De hecho, muchos sonidos no tienen una fundamental clara. El contenido frecuencial de un sonido puede mostrarse de diversas maneras. Una forma estándar es la de dibujar cada parcial como una línea en el eje x. La altura de cada línea correspondería a la amplitud de cada componente frecuencial. Una señal sinusoidal pura viene representada por una sola componente frecuencial.

A. Espectro

Como mencionamos anteriormente, la mayoría de los sonidos están compuestos por varias frecuencias diferentes. El teorema de Fourier afirma que toda señal periódica compleja puede descomponerse en una suma de señales sinusoidales de frecuencias y amplitudes diferentes. Esta descomposición se denomina espectro de frecuencias, y se representa mediante un gráfico con frecuencias en las abscisas y amplitudes en las ordenadas, en el que se visualizan las respectivas amplitudes de todas las frecuencias que componen un sonido.

IV. Representación Tiempo-Frecuencia

El espectro cambia constantemente, por lo que las gráficas mencionadas anteriormente representan sólo una porción de sonido que se ha analizado.

Esta teoría se aplica de forma rigurosa a las señales totalmente periódicas, pero los sonidos nunca lo son plenamente, pues siempre varían a lo largo del tiempo. Afortunadamente, desde hace varias décadas, mediante complejos procesos matemáticos que van más allá del alcance de esta nota, el análisis de Fourier se aplica también a señales variables en el tiempo.

Una gráfica que represente la variación del espectro a lo largo del tiempo nos da una idea de la evolución de la amplitud de las distintas frecuencias. Esta gráfica puede dibujarse de forma tridimensional, representando los distintos espectros a lo largo del tiempo, compuesta por una sucesión de "rebanadas" temporales, en la que cada una muestra el aspecto del espectro en un instante dado. En la figura 2, se muestra el espectro de frecuencias de sonido tridimensional. La frecuencia se representa en el eje x, el tiempo en el eje y (aumenta al acercarse hacia el observador), y la amplitud de estas frecuencias en el eje z. Asimismo, en la parte derecha de ésta figura, se muestra el espectro de frecuencias o “rebanada” correspondiente al instante inicial t=0.

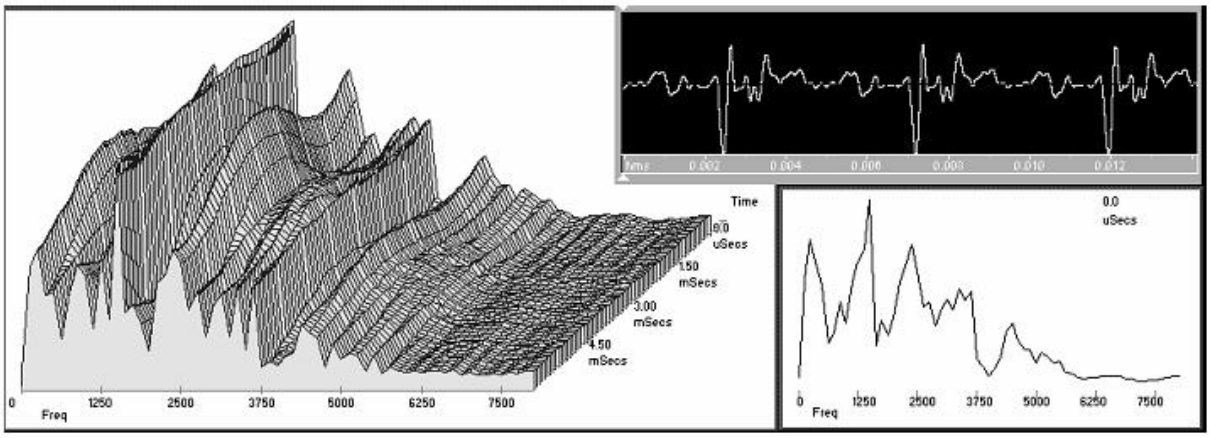

Figura 2: Evolución temporal del espectro de frecuencias.

Otra forma de representar esta variación es dibujando un sonograma o espectrograma. Este tipo de gráficas presentan la variación del contenido frecuencial respecto al tiempo, donde el tiempo se presenta en el eje horizontal (o eje x), la frecuencia en el eje vertical (o eje y) y la amplitud se dibuja a través de distintos colores de la traza. Como ejemplo podemos ver la Figura 3.

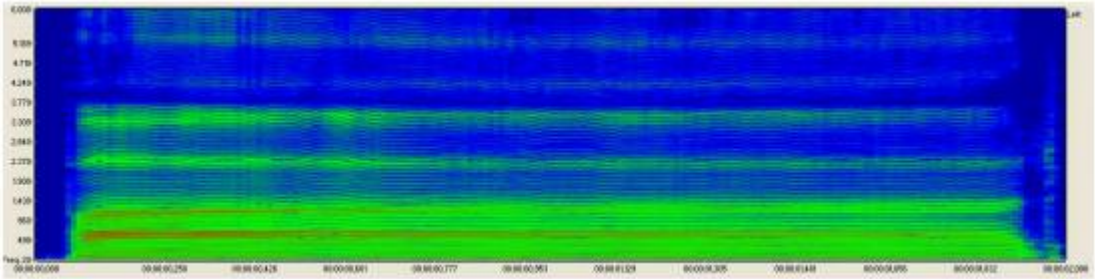

Figura 3: Espectrograma de un sonido vocálico.

A. Short Time Fourier Transform

La Transformada de Fourier (TF) es la herramienta matemática que nos permite pasar de una representación en el dominio temporal a una representación en el dominio frecuencial. De manera general, la Transformada de Fourier es un procedimiento matemático que mapea cualquier señal analógica estacionaria a una serie infinita de sinusoides, cada una de ellas con una determinada amplitud y fase.

Para adaptar el análisis de Fourier al dominio de las señales muestreadas, de duración finita y variantes respecto al tiempo, se define la Transformada de Fourier Localizada o a corto plazo (Short-Time Fourier Transform o STFT). En este caso, se divide la señal en pequeñas porciones o segmentos, que son denominadas tramas de análisis. El contenido frecuencial o espectro se calcula en cada una de las tramas utilizando la Transformada de Fourier.

B. Enventanado de la señal de entrada

Como hemos dicho, la STFT impone una secuencia de ventanas temporales de la señal de entrada, es decir, divide la señal en fragmentos cortos (short time) delimitados en el tiempo por una función ventana. Una ventana no es nada más que un tipo específico de envolvente que se aplica para un análisis espectral. La duración de la ventana está normalmente comprendida entre 1 ms y 1 s, y los segmentos a veces se solapan. A través del análisis espectral individual de cada segmento enventanado, se obtiene una secuencia de medidas (de espectros) que constituyen la espectro variable a lo largo del tiempo o sonograma. La Figura 4 muestra un ejemplo de enventanado de un sonido. El proceso de enventanado es la fuente del adjetivo short time en la Short-Time Fourier Transform. Desafortunadamente, tiene la desventaja de producir distorsiones en la medida del espectro, ya que el analizador de espectro no mide sólo la señal de entrada sino el producto de la misma por la ventana. El espectro que resulta es la convolución del espectro de la señal de entrada y el espectro de la ventana.

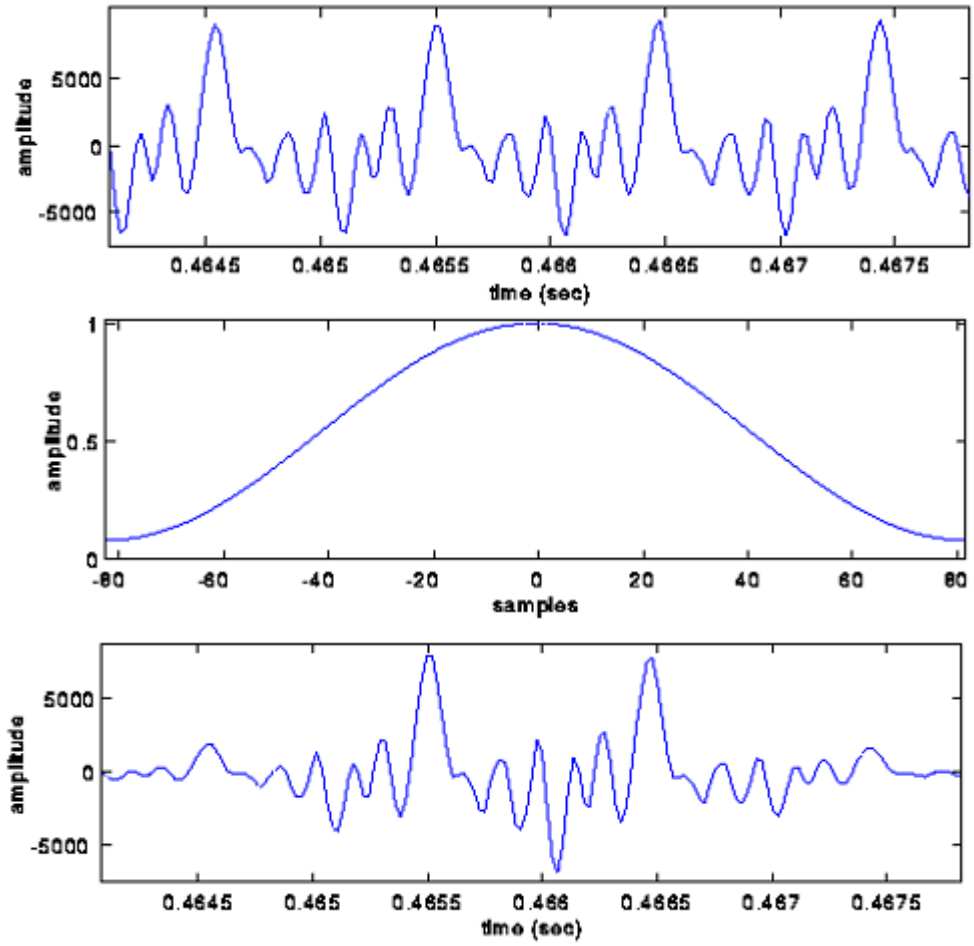

Figura 4: Proceso de enventanado de un segmento de audio.

C. STFT

A continuación del enventanado, la STFT aplica la Transformada de Fourier Discreta (DFT) a cada segmento enventanado. La DFT es un tipo de Transformada de Fourier que puede trabajar con señales discretas en el tiempo, es decir, muestreadas.

Nota: la Transformada de Fourier Rápida o FFT es simplemente una implementación eficiente de la DFT.

D. Incertitud Tiempo/Frecuencia y Compromiso Tiempo/Frecuencia

Un problema de la FFT es el compromiso que se tiene que hacer entre resolución frecuencial y temporal. Si queremos medir el contenido frecuencial de una señal lo más exactamente posible, necesitaremos más muestras para analizar en cada trama o segmento de la FFT (mayor frame size). Pero si hacemos los segmentos muy grandes, no capturaremos los eventos temporales que ocurren dentro de ellos. En otras palabras, más muestras requieren más tiempo, y mientras más tiempo consideremos el sonido se parecerá menos a una sinusoide o algo periódico, por lo que no estará bien representado por la FFT. Un tamaño común de segmento es 1024 muestras. Si tenemos una frecuencia de muestreo de 44.1 KHz, 1024 muestras corresponderían a 0,023 segundos de sonido. Todos los eventos sonoros en este intervalo de tiempo se mezclarán como uno solo en la FFT. Dependiendo del sonido que tengamos, utilizaremos diferentes tamaños de ventana. Por ejemplo, sonidos graves requerirán una ventana más grande que sonidos agudos.

V. CONCLUSIÓN

Ningún método de estimación espectral es ideal para todas las aplicaciones musicales y todos los sonidos que se quieran analizar. El análisis de Fourier, que es el procedimiento prevalente de conversión del dominio temporal al frecuencial, es de hecho una familia de técnicas diferentes que están en contínua evolución. Cada una de las técnicas de análisis de sonido debería verse como una forma de aproximar el sonido a analizar a un determinado modelo. Los métodos basados en análisis de Fourier modelan la señal de entrada como una suma de funciones sinusoidales, lo que puede o no ser cierto. Otras técnicas modelan la señal de entrada como una señal de excitación filtrada por resonancias, como una suma de sinusoides u ondas cuadradas amortiguadas exponencialmente, como una serie de formantes más un ruido, o como una serie de ecuaciones que representan ciertos comportamientos de un instrumento tradicional determinado. Es importante, por lo tanto, escoger el método de análisis que se adapte más al tipo de sonido que se analiza y a la aplicación que se desarrolla.

REFERENCIAS

[1] G. James, Matemáticas Avanzadas para Ingeniería, Pearson Educación, pp 97-200, 2002.
[2] Calandrini, Guía de definiciones y teoremas estudiados en el curso de Funciones de Variable Compleja. pp 48-53, 2013.
[3] Www.ccapitalia.net/reso/articulos/audiodigital/pdf/06-ProcesadoSonido.pdf.
[4] Www.dtic.upf.edu/~egomez/teaching/sintesi/SPS1/Tema3-Representacion.pdf.
[5] Es.wikipedia.org/wiki/Transformada_de_Fourier_discreta.
[6] Es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento_digital_de_se%C3%B1ales.