

Laboratorio I: Introducción a Taller de Instrumentación

Prof. Kaleb Alfaro Badilla

1. Objetivo General

Introducir al estudiante al modelado y calibración de señales dinámicas.

2. Objetivos Específicos

1. Elaborar un modelo matemático de un canal de comunicación.
2. Practicar el uso de herramientas de análisis computacionales.
3. Uso de herramientas de control de versiones.

3. Investigación Previa

Con base en las siguientes preguntas, elabore un documento en PDF o en MARKDOWN con sus respuestas

1. ¿Cómo se mide el *signal-to-noise ratio* (SNR) para una señal analógica? Brinde un ejemplo

R/ Para calcular el SNR, primero se debe identificar la señal de interés que se desea analizar, y posteriormente, determinar y cuantificar el ruido presente en dicha señal. Luego, utilizando equipos de medición apropiados, se mide la potencia de la señal y la potencia del ruido.

Finalmente, el SNR se calcula aplicando la fórmula:

$$\text{SNR (dB)} = 10 * \log_{10}(\text{Potencia de la señal} / \text{Potencia del ruido}) \quad (1)$$

Un SNR más alto indica que la señal deseada es más fuerte en comparación con el ruido, lo que implica una señal de mayor calidad y menos distorsionada.

En la figura 1 se especifica que es el SNR.

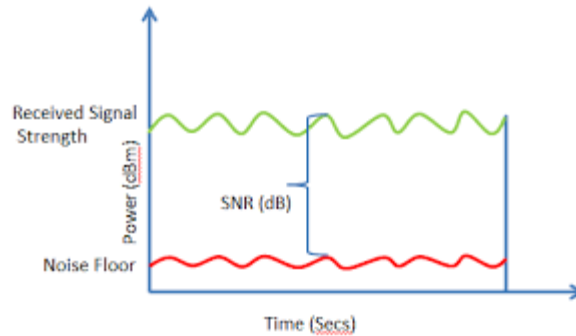


Figura 1. Grafica ilustrativa del SNR

Por ejemplo, si tenemos una señal de audio proveniente de un micrófono, podemos medir la potencia de la señal emitida por la fuente de audio y la potencia del ruido ambiente o cualquier otra interferencia presente en la señal. Después de obtener las mediciones, se aplica la fórmula para calcular el SNR de la señal de audio. Un SNR favorable implicaría que la señal es clara y de alta calidad, mientras que un SNR bajo indicaría que la señal está afectada por un nivel significativo de ruido.

2. ¿Cuál es el ancho de banda típico para señales de audio? ¿Una señal de audio tiene componente DC?

R/ El ancho de banda comúnmente utilizado para señales de audio se encuentra en el rango de 20 Hz a 20 kHz, el cual cubre las frecuencias audibles para los seres humanos. Es importante destacar que este ancho de banda puede variar según el tipo de señal de audio y el contexto en el que se emplee.

En la figura 2 se observar el ancho de banda de una gráfica.

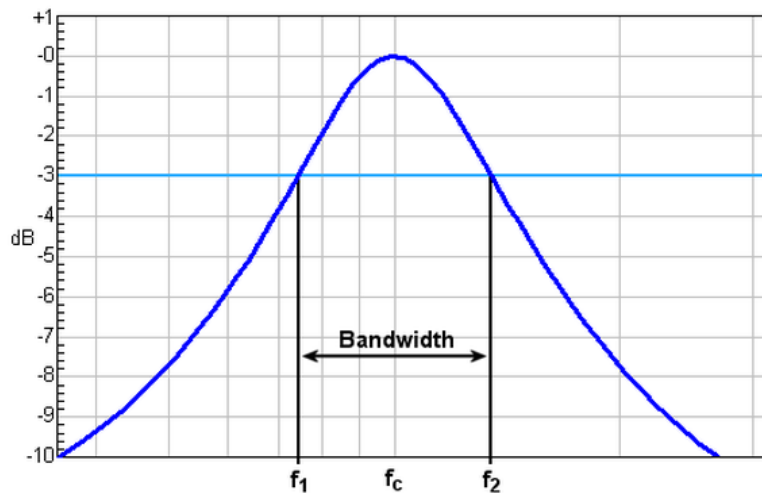


Figura 2. Ancho de banda (BW)

En relación con la componente DC (corriente continua), por lo general, las señales de audio no presentan una componente DC significativa. La componente DC hace referencia a la parte de la señal con una frecuencia de 0 Hz, es decir, una señal constante que no varía con el tiempo. En el caso específico de las señales de audio, la componente DC no aporta información audible y, por lo tanto, se considera indeseable. En consecuencia, durante el proceso de grabación y reproducción de audio, se tiende a eliminar o reducir la componente DC para obtener una señal de audio limpia y exenta de distorsiones.

3. ¿Cómo afecta el ruido térmico al SNR de una señal analógica? ¿Cuántos dBm tiene el ruido térmico para una impedancia de 50Ω para una señal cuyo BW= 20kHz?

R/ El ruido térmico tiene un impacto en la Relación Señal-Ruido (SNR) de una señal analógica, esta además como menciona Pelgrom (2013) “es de las más comunes formas de ruido debido al movimiento browniano de los portadores de carga en el controlador”. Esta sirve como una métrica que evalúa la calidad de la señal. Para calcular el SNR, se divide la potencia de la señal entre la potencia del ruido presente. El ruido térmico, siendo una fuente de ruido inherente en sistemas electrónicos, está directamente relacionado con la temperatura del

sistema y puede afectar significativamente la precisión y claridad de la señal.

La fórmula del ruido térmico es:

$$V_n = \sqrt{4 * k_B * T * R * BW} \quad (2)$$

Donde:

V_n es el voltaje del ruido.

k_B es la constante de Boltzman, que es igual a $1.380649 \times 10^{-23} J/K$.

T es la temperatura en kelvin.

R es la resistencia en ohmios.

BW es el ancho de banda en hercios.

Evaluando:

$$V_n = \sqrt{4 * (1.380649 \times 10^{-23} J/K) * (300K) * (50\Omega) * (20kHz)} = 1.28716 \times 10^{(-7)} [V_{rms}]$$

Para pasar de V_{rms} a dBm se utiliza la siguiente formula:

$$dBm = 10 \log_{10}(((V_{rms})^2)/R) + 30 \quad (3)$$

Evaluando:

$$dBm = 10 \log_{10} \left(\left((1.28716 \times 10^{(-7)} V_{rms})^2 \right) / 50\Omega \right) + 30 = -124.79704934 [dB]$$

4. ¿Qué es ruido de cuantización? ¿Bajo qué circunstancias se podría modelar como ruido aditivo?

R/ La cuantización es un proceso que se lleva posteriormente al muestreo de una señal analógica, en este proceso se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras y se les atribuye un valor finito (discreto) de amplitud el cual es seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente establecidos, estos niveles se escogen previamente según la codificación del sistema, esto nos brinda una señal digital no obstante hasta procesos posteriores se asocia con el sistema binario en otras palabras, "la cuantificación puede verse como una "discretización" en la amplitud"(Tutoriales de digitalización, s.f). Por consiguiente, el ruido de cuantización es un error en amplitud en las señales al ser digitalizadas.

Se podría modelar como ruido aditivo en las siguientes circunstancias:

1. Tasa de cuantización: La tasa de cuantización se refiere a la frecuencia con la que se muestrea y cuantifica la señal analógica. Una tasa de cuantización baja puede aumentar la visibilidad del ruido de cuantización y hacer que el modelo de ruido aditivo sea menos adecuado.
2. Número de bits de cuantización: Un mayor número de bits en el proceso de cuantización generalmente conduce a una menor cuantización de error. Cuando se usan muchos bits para cuantizar la señal, el ruido de cuantización tiende a ser más pequeño y, por lo tanto, es más razonable modelarlo como ruido aditivo.
3. Distribución del ruido de cuantización: Si el ruido de cuantización no sigue una distribución uniforme, sino que tiene algún tipo de sesgo o patrón, el modelo de ruido aditivo puede no ser adecuado y se requerirán modelos más avanzados para representar adecuadamente el error de cuantización.
4. Naturaleza de la señal: El tipo de señal que está siendo cuantizada también puede influir en cómo se modela el ruido de cuantización. Por ejemplo, en señales con contenido de alta frecuencia, el ruido de cuantización puede tener un efecto más notorio y no seguir un modelo de ruido aditivo simple.
5. Aplicación específica: En algunas aplicaciones, como la codificación de audio o video, el ruido de cuantización puede ser más perceptible y, por lo tanto, requiere modelos más sofisticados que capturen mejor su naturaleza y minimicen el impacto en la calidad percibida.

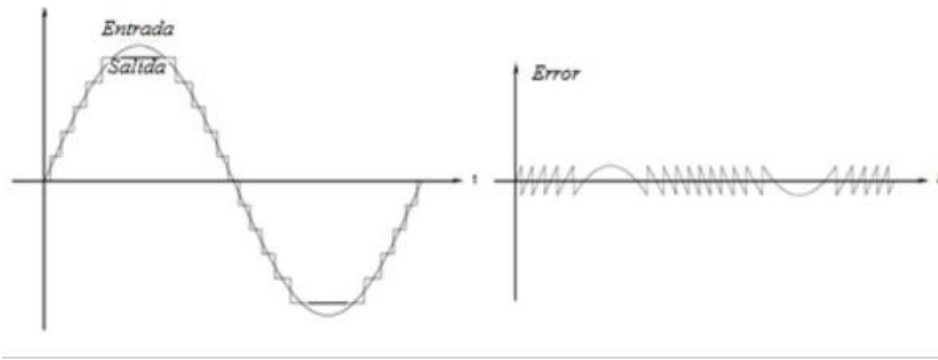


Figura 3. Ruido de cuantización

5. ¿Para una grabación de audio, el piso de ruido de la señal es predominado por el ruido de cuantización o el ruido térmico?

R/ Debido a que el ruido térmico se encuentra presente en cualquier sistema que este por encima del cero absoluto, es mucho más predominante en grabaciones de audio debido a que este ruido no tiene que ver solamente con la digitalización de la señal, como es el caso del ruido por cuantización, sino que este depende de las fluctuaciones de los electrones en los conductores lo que genera pequeños voltajes dentro de los cables, los micrófonos, los amplificadores, etc. Además, este ruido térmico no es tan sencillo de manejar como el ruido por cuantización.

6. ¿Cuáles son las tasas de muestreo más populares para grabaciones de audio? ¿La cantidad de bits por muestra?

R/ 44.1 KHz con una profundidad de 16 bits por muestra, esta frecuencia fue introducido con los CDs y por ello es conocida como audio CD.

48 KHz es comúnmente utilizada para aplicaciones de audio para videos, transmisiones de televisión, películas, y videojuegos, posee una profundidad de 24 bits por muestra.

96 KHz, es considerado el sonido de alta resolución y se utiliza más que todo para grabaciones de audio de alta calidad, donde se busca un audio más fiel y también se graban películas en este formato. Para estas tasas de muestreo se suele utilizar una profundidad de 24 o 32 bits por muestra, esto a conveniencia, debido a que el audio a estos niveles suele ocupar mucho espacio, a su vez que existe un amplio debate entre si existe realmente alguna diferencia audible entre 24 o 32 bits de profundidad a este nivel.

7. ¿Cuáles son los formatos de audio cuya compresión o almacenamiento no agrega distorsión?

Estos formatos son ampliamente conocido como “formatos de audio con compresión sin perdida” entre los más populares tenemos FLAC (Free Lossless Audio Codec), ALAC (Apple Lossless Audio Codec), APE (Monkey’s Audio), WavPack. Existen otros tres menos conocidos ya que su compatibilidad es mucho menor y necesitan de software un poco más especializados, los cuales son, TTA (True Audio), SHN (Shorten) y LPAC (Lossless Predictive Audio Compression).

8. ¿Cómo se puede utilizar un barrido de frecuencias para modelar la respuesta en frecuencia de un dispositivo bajo prueba (DUT)? Investigue el procedimiento a realizar a cada grabación de audio para tener la estimación de la respuesta en frecuencia.

R/ Para realizar un barrido de frecuencias para modelar la respuesta en frecuencia de un DUT se necesita un generador de señales y un analizador de espectro para realizar la medición. Luego se establece el rango de frecuencias que se desea analizar y el espacio entre ellas ya sea que se quiera realizar un barrido lineal o logarítmico. Ya con esto establecido, se debe configurar el generador de señales para que genere una señal con amplitud constante y varíe la frecuencia a lo largo del rango que se haya escogido y esta señal se enviará al DUT. Por último, se examina los

resultados del barrido de frecuencia para ver la ganancia o pérdida, además se pueden observar la respuesta en fase del DUT. También se puede realizar el barrido mediante programas como Matlab o Python, para este caso se puede utilizar la función rápida de Fourier la cual se encarga de calcular la transformada de Fourier del barrido de frecuencia para cada grabación y de esta manera se obtienen la respuesta en frecuencia y la gráfica que lo representa.

4. Enunciado

Se elaborará el modelo de respuesta en frecuencia de un dispositivo bajo prueba. En esta práctica, el dispositivo será un micrófono de audio. Para esta práctica se realizará el mismo procedimiento para dos micrófonos: uno de un celular y otro de una laptop. Se utilizará el método de estimación de respuesta en frecuencia por barrido de frecuencia de una señal sinusoidal. Por medio de un parlante se hará un playback de un audio que haga un barrido en frecuencia desde 50Hz hasta 5kHz y por medio de una grabación por cada micrófono se realizará el análisis de la respuesta en frecuencia de cada micrófono. Cada grabación se almacenará en formatos sin distorsión por compresión. Elaboré un método para estimar el SNR de las grabaciones (use un tono de 1kHz como referencia).

4.1. Materiales

1. Dos micrófonos (laptop, celular, usb, etc).
2. Parlante de sonido.

4.2. Presentación de los resultados

1. Se deberá reportar la metodología propuesta y los resultados en un archivo proyecto .ipynb (jupyter notebook)
2. Dicho archivo se encontrará subido en Github en conjunto con las grabaciones y el reporte de la investigación previa

5. Evaluación (100 %)

Rubro	Fecha de Entrega Límite	Valor (%)	Detalles
Avance	7 de agosto	50	Se revisará la investigación previa y el uso del repositorio de github para el manejo de control de versiones(35 %). Se verificará el trabajo avanzado hasta el momento (15 %).
Defensa programada	14 de agosto	50	Cada grupo realizará una demostración del funcionamiento del software preparado frente al profesor (cita a convenir de forma virtual).

Bibliografía

Pelgrom, M. (2013). *Analog-to-Digital Conversion*. Springer Science+Business Media. DOI 10.1007/978-1-4614-1371-4

Tutoriales de digitalización. (s.f). Cuantificación de imágenes digitales. Recuperado de https://www.tsc.uc3m.es/~igonzalez/Tutoriales/Digitalizacion/archivos/cuantificacion_intro.html

Electrónica. (s.f). ¿Cómo medir el ruido de cuantización? Recuperado de <https://electronica.guru/questions/13222/como-medir-el-ruido-de-cuantizacion>

C. Romero y M. Martinez. "Metodología para la obtención de la respuesta en frecuencia de transformadores para aplicaciones de alta frecuencia". ciencia.lasalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1177&context=ing_electrica.