

Práctica 2

PSD DE SEÑALES ALEATORIAS

Carlos Fernando Carreño Jerez - 2201729

Juan Esteban Pinto Orozco - 2215585

Jose David Florez Ramos - 2174241

https://github.com/CMarsJ/CommunicationsII_2024_2_CFJPDF.git

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

12 de octubre del 2024

Abstract

In the engineering field, power spectral density (PSD) is a crucial tool for data acquisition and signal analysis as it provides information about the power distribution in the frequency domain. This communications lab focuses on understanding the fundamentals of PSD calculation using GNU Radio by analyzing random bipolar signals, images, audio, and other signals. The lab involves generating patterns that facilitate PSD calculation and exploring how the PSD changes from various sample-per-symbol (Sps) configurations. Additionally, it covers the analysis and modification of code blocks to produce specific applications involving random signals. By evaluating signals in both the time and frequency domains, the results highlight the effects of signal characteristics and block configurations on the PSD, providing a comprehensive understanding of signal behavior in real-world applications. **Keywords:** Power Spectral Density (PSD), Signal analysis, Random bipolar signals, Images, Audio, sample-per-symbol (Sps).

1. Introducción

El análisis de señales desempeña un papel crucial en los campos de las comunicaciones y el procesamiento de datos, ya que permite a los ingenieros optimizar la transmisión, recepción y el diseño de sistemas más eficientes. La Densidad Espectral de Potencia (PSD) es una herramienta clave para examinar cómo se distribuye la energía de una señal en el dominio de la frecuencia. Este informe tiene como objetivo profundizar en el análisis de diversos tipos de señales, como señales aleatorias bipolares, unipolares, de audio y de imagen, por medio del software GNU Radio. A través de esta plataforma, se estudiaron las características espectrales de las señales, comparando las variaciones en la PSD bajo distintas configuraciones y parámetros. La capacidad de interpretar esos resultados y ajustar elementos como la interpolación y la modulación fue esencial para aplicaciones que requieran un control preciso del espectro.

En esta práctica, se pretende adquirir la capacidad de comprender, modificar y construir sistemas que permitan el análisis de señales a partir de bloques de código en GNU Radio y combinarlos para crear esquemas más complejos y eficientes. Este enfoque proporcionó una comprensión integral del análisis y la manipulación de señales en diversos escenarios, destacando la importancia de la PSD en el diseño de sistemas de comunicación avanzados.

2. Metodología

La realización de esta práctica de laboratorio se llevó a cabo siguiendo cinco fases metodológicas, de acuerdo con el flujograma proporcionado por el docente.

Randombinaryrectsignal: En esta fase se revisó y analizó el archivo suministrado por el docente, específicamente se estudió el funcionamiento para una señal binaria aleatoria bipolar mediante la variación del parámetro Sps.

Ruido Blanco: En esta fase, se ajustó el archivo para que, en lugar de procesar una señal bipolar aleatoria, recibiera un ruido blanco, mediante configuraciones aplicadas en la fuente virtual ("virtual source").

Fuente Del Mundo Real Cámara Fotográfica: Se utilizó un bloque "file source", configurado para emplear un archivo llamado "rana.jpg". Posteriormente, se realizó el análisis correspondiente.

Fuente Del Mundo Real Micrófono: En esta fase se utilizó el bloque "file source", ajustándolo para procesar el archivo llamado "sonido.wav". Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de los datos capturados por el micrófono.

Análisis De Funcionamiento: Finalmente, se respondieron una serie de preguntas suministradas por el docente, relacionadas con el control, variación de parámetros y comportamiento del Randombinaryrectsignal.



3. Resultados y Análisis de Resultados

Para el desarrollo de esta práctica y el análisis de cada uno de los procedimientos, se utilizó el siguiente esquema base, adaptándolo según las necesidades específicas del análisis y la conveniencia del usuario.

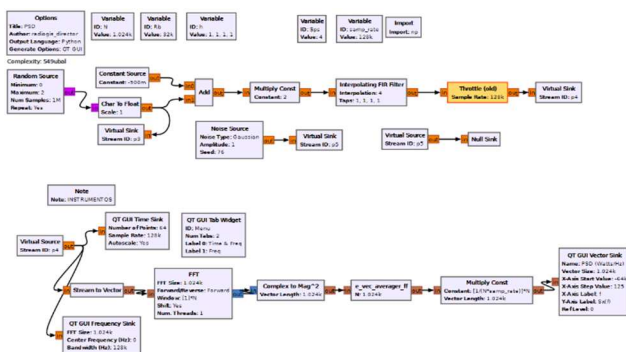


Figura 1. Esquema Base GNUradio.

Randombinaryrectsignal

Se realizó el análisis de una señal binaria aleatoria bipolar, en la cual se varió el parámetro Sps (Samples per Symbol, que define la cantidad de muestras por símbolo) por medio del Software GNU Radio. A partir de esta variación, se obtuvieron los datos que se muestran a continuación.

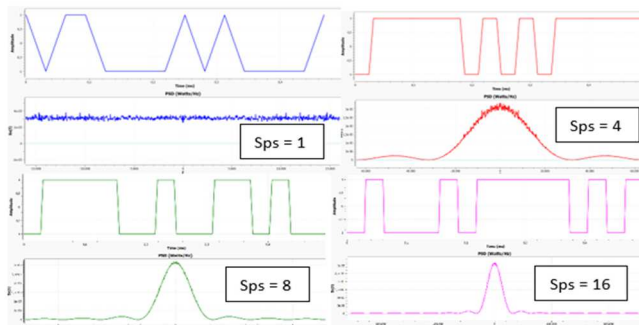


Figura 2. Variación de Sps en una Señal binaria aleatoria bipolar.

A continuación, se presenta de forma sintetizada el análisis correspondiente a las anteriores señales.

| Parámetros Señal Binaria Aleatoria Bipolar | | | | |
|--|---------|-----------|-------------------|---------------------|
| Sps | Tb [us] | Rb [Kbps] | Sample Rate [KHz] | Ancho de Banda [Hz] |
| 1 | 31,1 | 32,1543 | 32 | Infinito |
| 4 | 30,6 | 32,6797 | 128 | 64172,84 |
| 8 | 31,2 | 32,0512 | 256 | 63327,18 |
| 16 | 31,9 | 31,3479 | 512 | 61956,16 |

Tabla 1. Parámetros de una señal Binaria Aleatoria Bipolar al variar su cantidad de muestras por símbolo.

A partir del análisis de los datos recolectados anteriormente se puede concluir primeramente que, la captura de una única muestra (Sps = 1) no permite obtener una estimación precisa

de la densidad espectral de potencia (DSP), ya que esta requiere un conjunto más amplio de muestras que refleje las variaciones de la señal a lo largo del tiempo. Solo con múltiples muestras es posible descomponer la señal en sus componentes de frecuencia mediante herramientas como la Transformada de Fourier, como se observa en los casos con Sps = 4, 8 y 16. Esto es fundamental para analizar correctamente su comportamiento en el dominio frecuencial. Cabe resaltar que la PSD de una señal binaria aleatoria bipolar se asemeja a la del ruido blanco cuando Sps = 1, ya que en este caso las muestras no tienen correlación temporal, lo que genera una distribución uniforme de la potencia en todas las frecuencias, similar al espectro plano del ruido blanco. Por otro lado, el aumento en el valor de Sps mejora la precisión en la representación de una señal binaria aleatoria bipolar, ya que permite una mayor frecuencia de muestreo y reduce el ancho de banda necesario. Además, este incremento no afecta de manera significativa la tasa de bits ni el tiempo de bit, que se mantienen prácticamente constantes. En pocas palabras, un mayor Sps optimiza la calidad del muestreo sin alterar la velocidad de transmisión de la información.

Ruido Blanco

Para el análisis del Ruido Blanco, se configuraron las "Virtual Source" de modo que el bloque debajo de "instrumentos" mostrara la señal "p4", y el bloque correspondiente a la otra "Virtual Source" la señal a "p5", obteniendo así las señales correspondientes a la Figura 3.

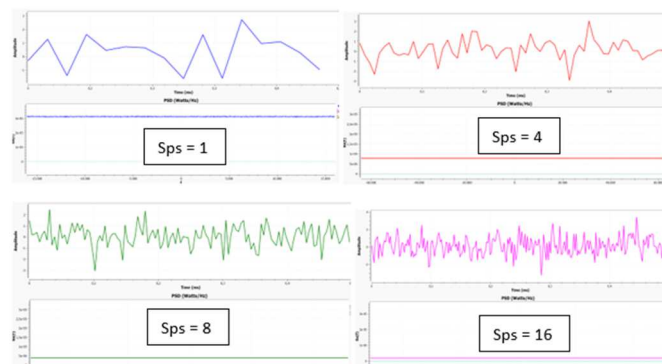


Figura 3. Variación de Sps en una Señal de Ruido Blanco.

Al realizar el respectivo análisis sobre la señal de ruido blanco obtenida anteriormente variando el valor de Sps, podemos observar que esta mantiene su comportamiento característico tanto en el tiempo como en el dominio frecuencial. En el tiempo, la señal presenta un comportamiento caótico, típico del ruido blanco, donde las variaciones son completamente aleatorias y no correlacionadas. En el dominio de la frecuencia, la densidad espectral de potencia (PSD) sigue el comportamiento esperado, manteniéndose plana en todo el espectro, lo que indica que la potencia está distribuida de manera uniforme en todas las frecuencias. A medida que el valor de Sps aumenta, la resolución en ambas gráficas mejora, permitiendo una representación más precisa de la señal y un mayor nivel de detalle en las gráficas.

Esto resalta la importancia de ajustar el Sps para optimizar la

calidad del muestreo sin afectar otros parámetros importantes, como la rata de bits o el tiempo de bit.

Fuente Del Mundo Real Cámara Fotográfica

En esta sección, es importante aclarar que el esquema utilizado en la práctica no es adecuado para analizar la imagen completa en términos de sus componentes RGB. Aunque se procesa la imagen y se utilizan herramientas de visualización como QT GUI Time Sink y FFT, no se dispone de un mecanismo que separe explícitamente los canales de color (rojo, verde y azul) para su análisis individual. Para lograrlo, sería necesario añadir bloques específicos que dividan la imagen en los tres canales (R, G y B) y luego procesarlos por separado antes de visualizarlos. Aunque este enfoque es fácil de entender conceptualmente, su implementación presenta desafíos. Es necesario tener en cuenta varios aspectos, como el tamaño de las matrices de la imagen, la descomposición de los bytes, y su posterior procesamiento y separación en canales. Debido a estas complicaciones, optamos por seguir con el análisis planteado originalmente en esta práctica. Resultados tras el análisis de la imagen “rana.jpg”.



Figura 4. Imagen Utilizada para el análisis.

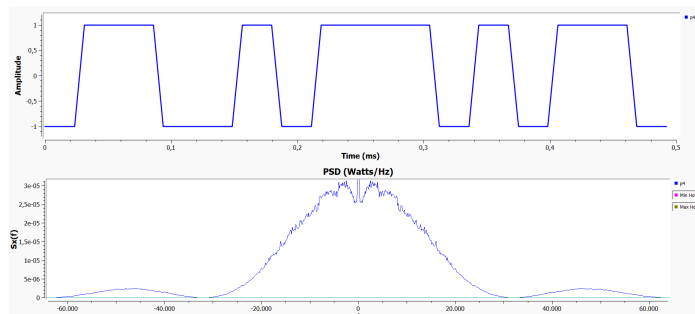


Figura 5. Representación en Tiempo y Frecuencia (PSD) de una Imagen RGB (Montaje Original Propuesto).

Se observó que, al utilizar valores de Sps más altos, los datos mostraban una forma más constante, ya que la variabilidad se reducía, tal y como hemos identificado en las 2 secciones anteriores. Posteriormente, se analizó cómo influía el tamaño de los bits en el bloque "Unpack K Bits" y comprendió que, al aumentar el número de bits, se lograba una representación más clara de los picos sobresalientes en la frecuencia.

Estos picos pueden interpretarse como los puntos de mayor intensidad de color en la imagen (que en su definición pueden representar una intensidad entre valores de 0 a 255 (8bits)), como se aprecia en la figura 6. Intentamos identificar posibles mejoras utilizando la interpolación, pero no encontramos avances significativos. No obstante, observamos que la interpolación realza aún más los picos mencionados, mejorando la visualización de las zonas de mayor intensidad.

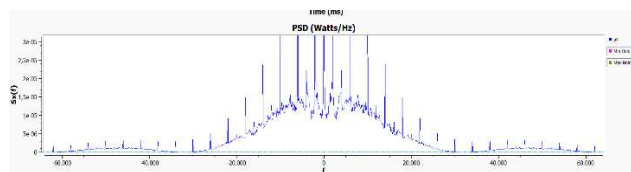


Figura 6. Imagen RGB Procesada con $K = 16$ bits.

En conclusión, al cambiar el valor de K en el bloque "Unpack K Bits" de 8 a 16, se modifica la cantidad de bits que se procesan y expanden. Con $K = 8$, el bloque toma un byte de entrada (8 bits) y lo convierte en 8 bytes de salida. Si se aumenta a $K = 16$, el bloque requerirá 2 bytes de entrada (16 bits) y generará 16 bytes de salida. Este cambio implica un mayor flujo de datos y podría afectar el procesamiento posterior, ya que otros bloques del sistema podrían no estar preparados para manejar este incremento en la cantidad de datos sin realizar ajustes adicionales. Además, aumentar el número de bits mejora la resolución de los datos procesados, pero también requiere más capacidad de procesamiento en el flujo general del sistema.

Fuente Del Mundo Real Micrófono

En esta sección, cambiamos el archivo de entrada del bloque "file source" a un archivo de audio en formato "Sonido.wav". Además, analizamos el impacto de la interpolación y el número de bits procesados en la representación del audio.

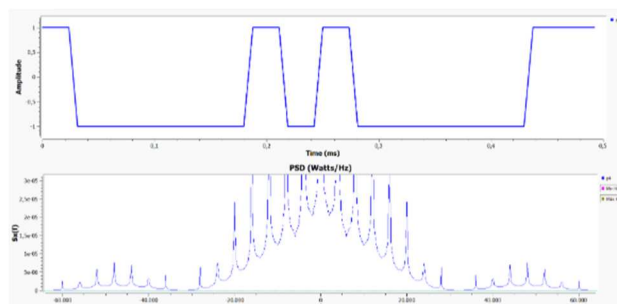


Figura 7. Señal de Audio Procesada en Tiempo y PSD.

Basándonos en la figura anterior, podemos notar que el audio concentra la mayor parte de su energía en las frecuencias audibles por el ser humano, que van desde los 20 Hz hasta los 20,000 Hz. En el gráfico de frecuencia, el audio muestra una forma similar a una montaña con un pico ancho en la región de las frecuencias principales. Al mismo tiempo, se pueden distinguir picos más altos que representan las notas clave.

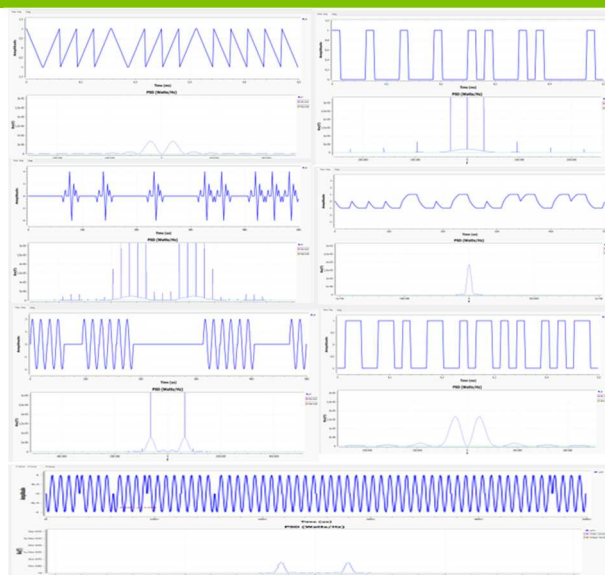


Figura 9. Señales Modificadas por la variación de h .

Podemos concluir que a partir de la variación de “ h ” de forma controlada podemos modificar la señal original para obtener así diferentes señales y procesos de modulación e incluso demodulación de señales.

Señal Unipolar y Bipolar: La diferencia entre las señales binarias bipolares y unipolares se refleja principalmente en sus gráficos de densidad espectral de potencia (PSD). Las señales bipolares, que alternan entre -1 y 1, distribuyen mejor su energía en el espectro, evitando la concentración de potencia en frecuencias bajas y proporcionando una representación espectral más eficiente. En cambio, las señales unipolares, que solo utilizan valores entre 0 y 1, tienden a concentrar más energía en las frecuencias bajas, especialmente en la frecuencia 0, lo que resulta en una menor eficiencia espectral y mayores picos en bajas frecuencias. Este comportamiento se puede evidenciar en la figura 10.

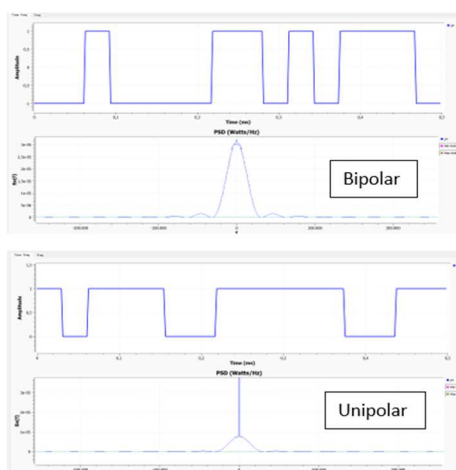


Figura 10. Señal Bipolar y Señal Unipolar.

4. Conclusiones

- El aumentar el valor de Sps se mejora la precisión en la representación de la señal binaria aleatoria bipolar tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Esto se debe a que permite una mayor tasa de muestreo y por ende una mejor resolución. Con un Sps bajo ($Sps=1$), la PSD de la señal se asemeja a la de un ruido blanco, mientras que al aumentar Sps se obtiene una mayor definición de las componentes de frecuencia, lo cual optimiza el análisis sin alterar la tasa de bits o el tiempo de bit.
- El ruido blanco mantiene una distribución uniforme de la potencia en todas las frecuencias, lo que se observa en una PSD plana. Al aumentar el valor de Sps, permite visualizar mejor el comportamiento caótico del ruido en ambas dimensiones.
- Se determinó que, al procesar señales provenientes de imágenes, especialmente al variar el valor de K en el bloque "Unpack K Bits", se obtienen representaciones más detalladas en la PSD. Los picos en la PSD reflejan las áreas de mayor intensidad de la imagen, lo cual está relacionado con los colores más sobresalientes.
- Las señales binarias bipolares distribuyen mejor la potencia en el espectro, evitando concentraciones en frecuencias bajas, lo que hace que sean más eficientes espectralmente, en comparación con las señales unipolares. Estas últimas tienden a concentrar energía en las frecuencias bajas, lo que resulta en una menor eficiencia y mayores picos en las bajas frecuencias, como se observó en los gráficos de PSD.
- La variación del parámetro " h " en una secuencia interpolada afecta directamente la continuidad de la señal, pudiendo generar picos y componentes de alta frecuencia no deseados si no se ajusta correctamente. Un ajuste preciso de " h " permite mantener la suavidad y calidad de la señal, evitando distorsiones. Además, la manipulación controlada de " h " facilita la modificación de la señal original, posibilitando la implementación de diferentes señales además de procesos de modulación y demodulación.
- En las señales de audio, la correcta interpolación y el ajuste del número de bits son esenciales para mejorar la precisión del espectro y detectar picos clave. Una interpolación adecuada suaviza las transiciones, preservando la calidad y fidelidad del espectro de la señal.

Referencias:

[1] C. Constantinescu y R. Brad, "An Overview on Sound Features in Time and Frequency Domain", *Int. J. Adv. Statist. IT&C Econ. Life Sci.*, vol. 13, n.º 1, pp. 45–58, diciembre de 2023. Accedido el 12 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2478/ijasitels-2023-0006>

[2] G. RADIO. Tutorial gnu radio. [Online]. Available: <https://wiki.gnuradio.org/index.php/Tutorials>