

Práctica 2: PSD DE SEÑALES ALEATORIAS (GNURADIO)

VALENTINA BERNAL PUENTES - 2205556
MANUEL SEBASTIAN SOLANO CANTILLO - 2171518

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander

18 de febrero de 2023

1. Introducción

El uso de GNU Radio ofrece una plataforma poderosa para el procesamiento de señales y comunicaciones, permitiendo la creación de bloques personalizados para adaptarse a diversas aplicaciones. Combinado con la gestión remota de GitHub el cuál facilita la colaboración en proyectos de desarrollo de software.

En este informe se explorará una señal binaria aleatoria bipolar y cómo se obtiene su forma en el tiempo y en PSD. Se harán casos en los que los bits de entrada provienen de una fuente del mundo real y se verán las diferentes entre ellos, por último se hará una serie de preguntas sobre el fluograma utilizado y diferentes casos en los que los parámetros varían.

Esta práctica cuenta con el siguiente repositorio: [1]

2. Procedimiento

Para realizar este laboratorio se deben descargar los archivos de la práctica [2]. Con esto se llevarán a cabo los siguientes procedimientos:

Se analizará una señal binaria aleatoria bipolar de forma rectangular, en donde se obtendrá la forma en el tiempo, la PSD y los parámetros principales con valores de Sps en 4, 8, 16 y 1. Asimismo, se comprobará cómo es el ruido blanco en tiempo y en PSD.

Luego de esto, se comprobará lo que sucede con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente del mundo real, como es el caso de una cámara fotográfica, tomando como ejemplo la foto que se encuentra en los archivos de la práctica (referencia). Se repetirá el paso anterior, pero esta vez tomando una señal de audio, para los dos casos se hallará la forma de la señal en el tiempo, su PSD y sus parámetros principales.

Se finalizará la práctica con preguntas de control que ayudarán a profundizar los conceptos vistos mediante el flujograma.

3. Resultados

Se comprobó el funcionamiento del flujograma propuesto para la práctica analizando una señal binaria aleatoria de forma rectangular, a la que se le obtuvo su forma en el tiempo, su densidad espectral de potencia y sus parámetros principales variando el Sps de la siguiente manera:

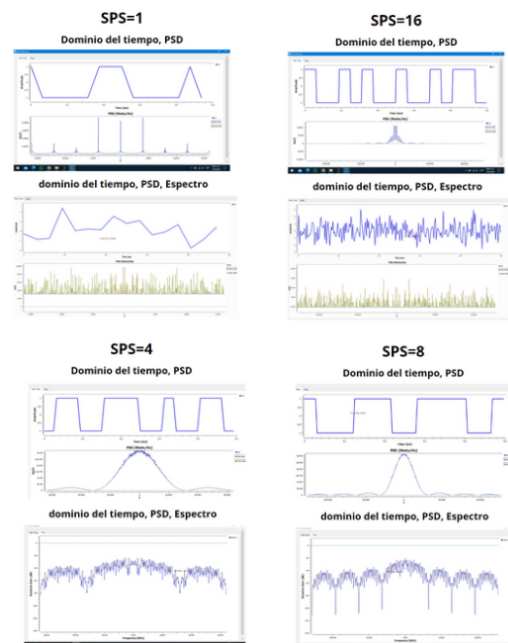


Fig. 1: Simulación GNU Radio Sps=1, Sps=4, Sps=8, Sps=16

Analizando la figura 1 se obtienen los parámetros princi-

pales de las señales los cuales son:

- Sps=4 Rata de bits=32Kbps, frecuencia de muestreo=128kHz y ancho de banda=64kHz.
- Sps=8 Rata de bits=32Kbps, frecuencia de muestreo=256kHz y ancho de banda=128kHz.
- Sps=1 Rata de bits=32Kbps, frecuencia de muestreo=32kHz y ancho de banda=16kHz.
- Sps=16 Rata de bits=32Kbps, frecuencia de muestreo=512kHz y ancho de banda=256kHz.

Al analizar cómo se comporta el ruido blanco en el tiempo y PSD se tomaron las siguientes muestras

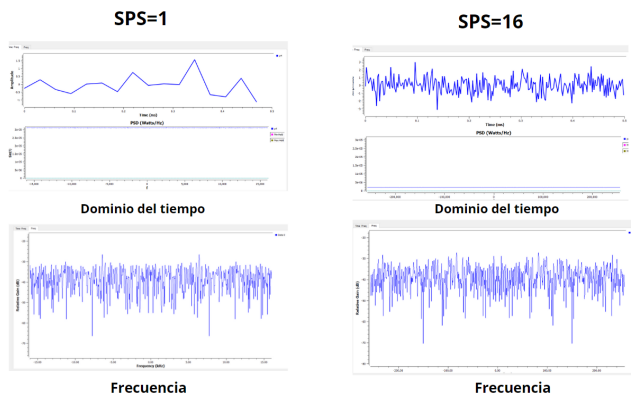


Fig. 2: Simulación ruido blanco en Gnu Radio Sps=1 y Sps=16

De esto se puede concluir que el ruido blanco en el dominio del tiempo se comporta con una distribución de manera aleatoria ya que cada muestra es independiente de las demás, y en PSD muestra una constante en el dominio de la frecuencia, no hay ninguna frecuencia que tenga más energía que otra.

Se comprobó lo que pasa con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente del mundo real como es el caso de una cámara fotográfica con las siguientes muestras:

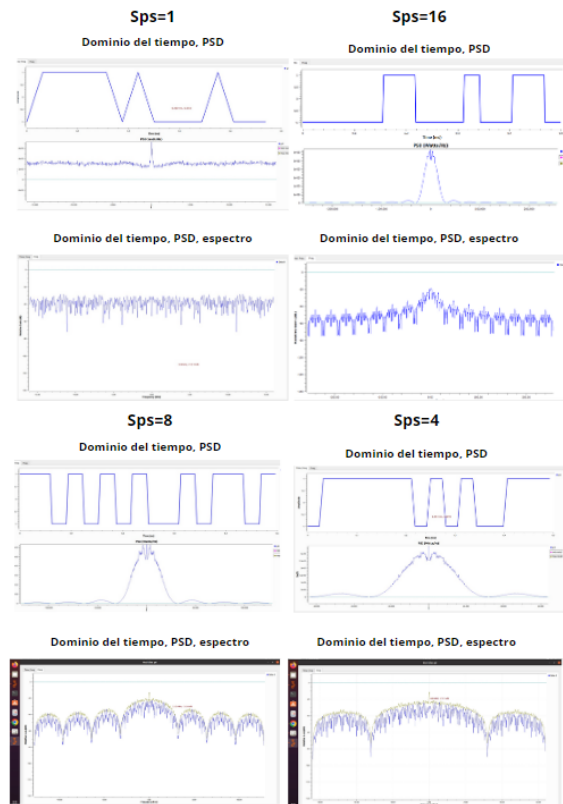


Fig. 3: Simulación con imagen GNU Radio Sps=1, Sps=4, Sps=8, Sps=16

De la figura 3 podemos ver que en este caso al aumentar la tasa de muestreo, se estaría tomando más muestras (píxeles) por unidad de longitud (ancho y alto) en la imagen tomada como muestra para esta práctica [2], lo que proporciona una mayor resolución espacial. Si tenemos una menor tasa de muestreo se verá una pérdida de detalles y una menor calidad visual. Sin embargo, puede requerir menos recursos de almacenamiento y procesamiento.

Se realizó el mismo procedimiento del punto anterior pero en este caso con un audio, se obtuvieron las siguientes gráficas:

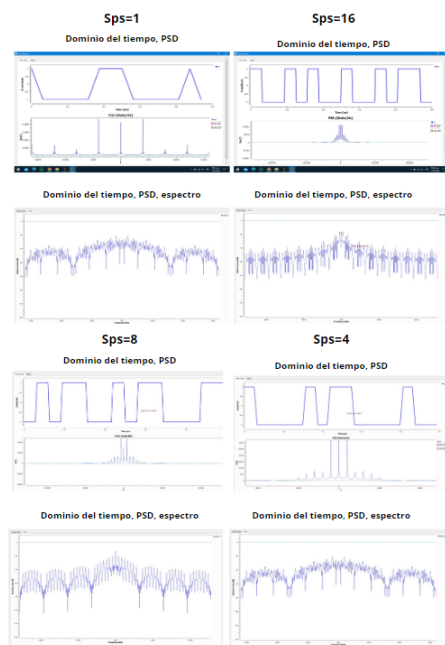


Fig. 4: Simulación con audio GNU Radio Sps=1, Sps=4, Sps=8, Sps=16

De la figura 4 se puede analizar que a medida que el SPS va aumentando estamos tomando más muestras por segundo de la señal de audio lo cuál genera una mejor calidad en su muestreo, por otro lado, vemos que al disminuir el SPS en el dominio del tiempo da una menor resolución temporal, la señal muestreada puede perder detalles y suavizar características de alta frecuencia o cambios rápidos en la señal.

Preguntas de control fluograma randombinayrectsignal. [2]

- ¿Qué papel juega el bloque “Interpolationg FIR Filter”?, ¿cómo funciona?

El bloque Interpolating FIR Filter en GNU Radio juega un papel importante en el procesamiento de señales digitales a la hora de realizar el proceso de interpolación de una señal, este es un filtro lineal de valor finito en este caso SPS, que permite realizar el proceso de interpolación antes de que la señal sea convolucionada con la respuesta al impulso.

El funcionamiento de este bloque consiste en entregarle una señal de entrada discreta e interpolarla un factor finito SPS generando una nueva señal con una frecuencia de muestreo SPS veces mayor a la señal de entrada y finalmente se convolucionará

con un filtro $h(n)$ descrito en el diagrama de bloques.

1. ¿Por qué el parámetro “Interpolation” en el bloque vale “SPS” y qué pasa si se coloca otro valor?

En la mayoría de los sistemas de comunicación digital, la frecuencia de muestreo (F_s) deben ser mayor a la velocidad de transmisión (R_s) para poder evitar el aliasing, por lo que se debe calcular el factor de interpolación de la siguiente manera:

$$L = \frac{F_s}{R_s}$$

Donde L será el factor SPS.

2. Si tuviese que analizar la señal en p3, ¿qué cambios realizaría en la instrumentación (esquema de GNU Radio)?

Para analizar la señal en p3 del esquema, se debe reducir la frecuencia de muestreo de la señal p3 a un valor adecuado ya que esta es muy alta enviándola a través de un bloque “throttle”, este bloque permite reducir la frecuencia de muestreo de una señal a un valor específico y esta señal enviarla a un bloque “Qt GUI Time Sink” para observar la señal en tiempo real y a un bloque “Power Spectrum” para visualizar la densidad espectral de potencia de la señal.

3. ¿Qué fórmula permite conocer el ancho de banda de la señal en p4 si se conoce R_b y Sps ? La fórmula para hallar el ancho de banda de la señal con el Sps y el $p4$ es:

$$B_w = Sps * R_b$$

4. ¿Qué fórmula permite conocer la frecuencia de muestreo en p3, si se conoce la frecuencia de muestreo en p4 y Sps ?

Dado que F_{s4} es la frecuencia de muestreo de $P4$ y Sps es el número de muestras por símbolo de la interpolación, el valor de la frecuencia de muestreo de $p3$ está dado por la fórmula.

$$F_{s3} = F_{s4} * Sps$$

- ¿Por qué razón la PSD de las señales binarias que provienen de una señal de audio es diferente a la que proviene de una foto siendo ellas igualmente señales binarias bipolares de forma rectangular? Se observó que aunque los parámetros del proceso para su tratamiento eran exactamente iguales, los



resultados variaban en su representación de densidad espectral de potencia, ya que las señales de audio eran más complejas en cuanto a contenido espectral y variaciones en el tiempo.

- ¿Qué papel juega el bloque “Throttle”?
El bloque Throttle en GNU Radio, es un bloque de control de flujo el cual es esencial para la velocidad de procesamiento de la cadena de la señal y evitar el procesamiento excesivo garantizando que no se consuman recursos innecesarios.

- ¿Qué pasaría con la PSD si no se hace la conversión a señal bipolar, sino que la señal binaria en p4 solo tiene valores de 0 ó 1 en lugar de -1 ó 1?

Si la señal binaria P4 solo contiene valores de 0 ó 1 y no se lleva a cabo la conversión a una señal bipolar (-1 o 1), se afectará la PSD (Densidad Espectral de Potencia) de la señal resultante en donde se verá influenciada por la falta de simetría en la señal y la ausencia de la componente de corriente continua (DC).

- Se supone que el ruido blanco tiene un ancho de banda infinito, ¿coincide esto con lo observado en GNU Radio?, ¿por qué?

El ruido blanco en Gnu Radio no se ve de manera infinita, ya que esto depende de los recursos del computador a demás que el ruido blanco es generado de manera digital por lo que se ve limitado al valor de la frecuencia de muestreo del sistema, lo que significa que el ancho de banda de el ruido blanco sera igual a la frecuencia de muestreo.

- ¿Qué fórmula podría ayudar a calcular el número de lóbulos de la PSD de señal binaria aleatoria de forma rectangular cuando se conoce la frecuencia de muestreo y Sps? Nota: el lóbulo de la mitad se cuenta como dos porque tiene el doble de ancho que los demás.

Para el calculo del numero de lbulos de la PSD de una señal binaria se utiliza la función sinc la cual tiene un lóbulo principal y varios lóbulos secundarios que disminuyen en amplitud a medida que nos alejamos del lóbulo principal

$$\text{sinc}(X) = \frac{\sin(x)}{x}$$

Rs y la frecuencia de muestreo fs con el número de muestras por símbolo (Sps):

$$R_s = \frac{f_s}{Sps}$$

Ancho del pulso rectangular en términos de la tasa de símbolos:

$$T = \frac{1}{R_s}$$

Distancia entre ceros sucesivos en el espectro de frecuencia:

$$f = R_s$$

Final mente hallaremos el número de lóbulos hasta la frecuencia de Nyquist:

$$\text{lobulos} = \frac{f_s}{2R_s}$$

- ¿Cómo se calcula todo el rango de frecuencias que ocupa el espectro cuando se conoce Rb y Sps?

Para una modulación binaria como lo es BPSK, donde cada símbolo representa un bit, el $R_s = R_b$. Si se está trabajando con modulaciones que representan más de un bit por símbolo, se deberá ajustar. Dado que el espectro es simétrico alrededor de la frecuencia cero para una señal bandabase su rango será de $2 \times R_s$. para una señal binaria aleatoria de forma rectangular con tasa de bits R_b y Sps, su rango será de $2 \times R_s$, donde R_s es la tasa de símbolos.

- ¿Cómo se calcula la resolución espectral del analizador de espectros, cuando se conoce N y la frecuencia de muestreo?

La resolución espectral (RBW) del analizador de espectros se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$RBW = \frac{f_s}{N}$$

Siendo f_s la frecuencia de muestreo y N el numero de puntos de la transformada rapida de fourier (FFT).

- ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la entrada del bloque “Unpack K Bits” si conoce el número de lóbulos de la PSD y el ancho de banda de la señal?

La frecuencia de muestreo (F_s) se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$F_s = \frac{2 * N_{lobulos} * BW}{K}$$

Donde K es el número de bits que se desempaquetan en el bloque “Unpack K Bits”

- ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la salida del bloque “Unpack K Bits” si conoce la frecuencia de muestreo a la entrada?

Se calcula dividiendo la frecuencia de muestreo en la entrada por el parámetro K, que indica la longitud de cada paquete de bits en el bloque. Básicamente, es una operación que ajusta la velocidad de muestreo de la señal de salida en función de la velocidad de entrada y el tamaño de los paquetes de bits procesados por el bloque “Unpack K Bits”.

- ¿Para qué caso de Sps la PSD de una señal binaria aleatoria bipolar es similar a la PSD de ruido blanco?

Es necesario utilizar una tasa de símbolos por segundo lo suficientemente alta en relación con el ancho de banda del sistema de comunicación. Esto asegura que los cambios en la señal ocurran rápido y de manera aleatoria para que la PSD se asemeje a la de ruido blanco.

- ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h, si desea que los bits en la señal binaria aleatoria tomen la forma de dientes de sierra?

Para que los bits tomen la forma de dientes de sierra, se puede reemplazar h por una función dientes de sierra como

$$h(t) = \frac{2 * t}{T} - 1$$

Donde t es el tiempo y T el periodo de la señal y se debe ajustar el muestreo y la duración de cada bit de la señal binaria para que coincida con la dientes de sierra.

- ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h, si desea que la señal binaria aleatoria tenga codificación de línea Manchester NRZ, es decir como se muestra en la Fig. 3?

Se debe definir una Función (h) específica para la codificación Manchester NRZ, de modo que genere la onda deseada, también se deben Configurar el tiempo y la duración de los Bits de tal modo que el tiempo y la duración de los bits coincidan con la representación Manchester NRZ en la figura 3, y finalmente se debe definir una amplitud para los bits en 1

- ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal OOK como se muestra en la Figura 4?

Se debería añadir el bloque “Char to Float” seguido de random source, pasando por un bloque E rf vco el cual permite la generación de señales de RF y la manipulación de frecuencias en el dominio de la radiofrecuencia. En general el bloque ECEvcofC ayuda a lograr una modulación OOK.

- ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal ASK como se muestra en la Figura 5?

Se debería añadir el bloque “Char to Float” seguido de random source y se utilizará el bloque “Signal Source” para generar una señal que pasara por un bloque “Multiply” posteriormente pasará por un bloque “Float to Complex” para convertir señales de números de punto flotante en una señal compleja.

4. Conclusiones

- Al incrementar el valor del Sps la frecuencia de muestreo también se incrementará junto con el ancho de banda del canal, lo que podría ocasionar pérdidas de información al no aprovechar el ancho de banda de canal el cual se toma como un valor fijo
- El software Gnu Radio posee cierta limitación a la hora de muestrear las señales, tal y como ocurre con la señal aleatoria de ruido blanco, a cual posee un ancho de banda infinito, sin embargo este se ve sesgado por el ancho de banda de la señal h que a su vez depende del Sps4
- La razón principal por la cual la PSD (Densidad Espectral de Potencia) de las señales binarias provenientes de una señal de audio son diferentes a la de una foto, a pesar de que ambas sean señales binarias bipolares de forma rectangular, radica en las diferencias fundamentales entre el contenido y la naturaleza de ellas. Estas diferencias impactan en la distribución de la energía en el espectro de frecuencia.

Referencias

- [1] “Repositorio github.” [Online]. Available: https://github.com/Sebassol/CommunicationsII_2024_1_G2_sebval.git
- [2] “Comdigpractices2021sii,” 2019. [Online]. Available: <https://sites.google.com/saber.uis.edu.co/comdig>