

Práctica 1: Frecuencia de muestreo en GNURADIO

CAMILA ANDREA BELEÑO CABRALES - 2204280 NICOLAS
CHAPARRO TOLOSA - 2201605

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

13 de septiembre de 2023

Resumen

Esta primera practica tiene como objetivo principal comprender el teorema de Nyquist al momento de aplicarlo a diferentes señales, Para ello se realizó un diagrama de bloques cada uno con diferentes configuraciones en donde se logró observar el cumplimiento requerido en cada fase, asimismo se pudo comprobar cada uno de los efectos que proporciona este teorema, la importancia de conocer su límite y a su vez de como manipular la relación f_s/f_c para ver las transformaciones que este ocasionaba en la señal y poder observarla con diezmado e interpolado para visualizar la diferencia que tenía cada una dependiendo su comportamiento.

Palabras clave: Teorema de Nyquist, muestreo, interpolación, diezmado.

1. Introducción

La teoría de muestreo más conocida como el teorema de Nyquist-Shannon $f_s \geq 2 \cdot f_{max}$, siendo f_s : Frecuencia de muestreo mínima y f_{max} : Frecuencia de muestreo máxima de la señal original; es de suma importancia que este teorema se cumpla ya que, en el campo de procesamiento de señales dentro de los laboratorios de comunicaciones, la implementación correcta del muestreo es esencial para así garantizar calidad, adquisición y precisión de cada uno de los resultados obtenidos. Para realizar la practica en donde se empleó y se tuvo muy presente este teorema, se usó el software GNURADIO, el cual, tiene alto potencial por su flexibilidad y facilidad de uso puesto que permite a sus usuarios diseñar diversos tipos de sistemas de procesamiento de señales adaptados a sus necesidades específicas; es importante resaltar que cualquier señal que se esté procesando alcanza el límite Nyquist, es decir, reducir la frecuencia de muestreo por debajo de limite requerido ($f_s \geq 2 \cdot f_{max}$), la respuesta de la

señal se distorsionará y perderá información afectando significativamente su exactitud y precisión en su respuesta, trayendo como consecuencia que sea imposible reconstruir la señal analógica original a partir de la digital resultante. Teniendo en cuenta lo anterior, al estudiar la función de relación de muestreo (tasa de Nyquist) para así tener una visualización precisa, se sugiere usar una tasa de muestreo 5 o 10 veces mayor que la tasa Nyquist ya que de esta manera se estaría garantizando una mejor precisión en la reconstrucción de la señal donde se lograría ver si hay un sobre muestreo, cabe mencionar que esta tasa permite el uso de filtros más simples para eliminar ruidos e interferencias. Además, es importante tener cada uno de los conceptos nombrados y justificados anteriormente muy claros, sabiendo que la tasa de muestreo requerida dependerá de la frecuencia máxima de la señal y el ancho de banda; otros de los conceptos que se utilizaron en esta práctica fueron los de interpolación de una señal el cual tiene muchas funciones importantes, por ejemplo, cuando se necesita una versión más precisa y detallada de la señal original, también esta interpolación permite reconstruir una señal de audio o una imagen a partir de una interpretación muestreada, o para la generación de señales suavizadas desde señales con ruido, entre otras; y asimismo se utilizó el concepto de diezmado de una señal, este a diferencia de la interpolación es un proceso que permite reducir la tasa de muestreo de una señal sin perder información relevante, este diezmado se realiza en tres etapas: 1) Filtro antialiasing (elimina todas las frecuencias que son mayores que la mitad de la nueva tasa de muestreo deseada); 2) Reducción de tasa de muestreo (eliminación selectiva de puntos de muestreo); y 3) Filtro de reconstrucción (interpola los puntos de muestreo eliminados para construir una versión de la señal original suavizada). En esta práctica uno de los factores más importante y al que se tuvo más presente en el desarrollo de esta práctica fue la frecuencia de muestreo puesto que si hay una frecuencia de

muestreo inadecuada se pueden desencadenar muchos problemas en la señal impidiendo lo que se quiere obtener de la practica en sí, esto se da por dos problemas: 1) Frecuencia de muestreo demasiado baja: Es cuando de la frecuencia de la señal es mayor que la mitad d la frecuencia de muestreo de Nyquist lo que estaría ocasionando un submuestreo de la señal produciendo aliasing y a su vez generando distorsión, dificultando el análisis y procesamiento de la señal; 2) Frecuencia de muestreo demasiado alta: Aquí es cuando la señal se sobre muestra tomando más muestras de las necesarias causando una introducción de ruido a la señal. Finalmente en esta primera practica de laboratorio se utilizó una señal de audio para estudiar todos los conceptos nombrados anteriormente para lograr comprender cada uno de los fenómenos estudiados con señales determinísticas puesto que la señal de audio tiene un análisis más complejo, más variable y se puede observar en diferentes practicas del día a día, obteniendo que cada estudiante tenga una mejor interpretación y comprensión de toda la terminología estudiada para aplicarlo de forma correcta en cualquier campo.

2. Procedimiento

Se realizaron múltiples montajes en el laboratorio que nos permitieron comprender la importancia del teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo, interpolar y diezmar señales y el uso de diferentes filtros para obtener componentes de señales.

1. **Teorema de Nyquist:** El teorema de Nyquist establece que para muestrear correctamente una señal fuente analógica o digital, el periodo con el que muestreamos la señal debe ser 2 veces el ancho de banda de la señal, o 2 veces la frecuencia de la señal original. Si se realiza un muestreo de una señal con una frecuencia de muestreo incorrecta, se produce el fenómeno antialiasing, esto causa que nuestra señal muestreada no sea similar a la señal original, va a presentar cambios en sus características y perdidas de información. Se realiza un montaje para poder comprobar el teorema de Nyquist.

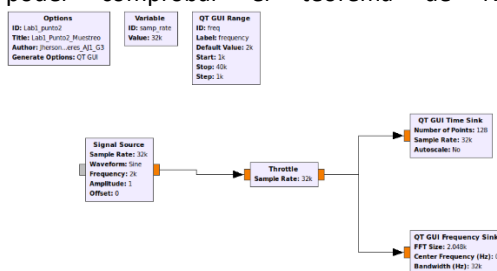


Ilustración 1 Diagrama de Bloques Teorema de Nyquist

Podemos ver que uno de los bloques que compone nuestro sistema es el bloque Throttle. El bloque Throttle es comúnmente utilizado cuando tenemos un sistema que no interactúa con Hardware, para este caso nuestra fuente era una señal sinusoidal creada por el simulador, por tanto, usamos este bloque. Este bloque sirve para limitar la velocidad con la que el bloque de input (bloque origen en este caso) crea muestras, por tanto, regula la cantidad de datos que se procesan por segundo. Otro de los bloques que es el QT GUI Time Sink y el QT GUI frequency Sink, este bloque nos permite visualizar la respuesta en frecuencia de la señal que conectamos a este bloque, el análisis en frecuencia es importante en el tratamiento de señales y en las comunicaciones porque de este análisis podemos llegar a conclusiones que no se ven en el tiempo. Este bloque funciona implementando la FFT (Fast Fourier Transform) para obtener la respuesta en frecuencia de la señal en el tiempo. En las siguientes imágenes se pueden observar respuestas en frecuencia de distintas señales usadas en este laboratorio:

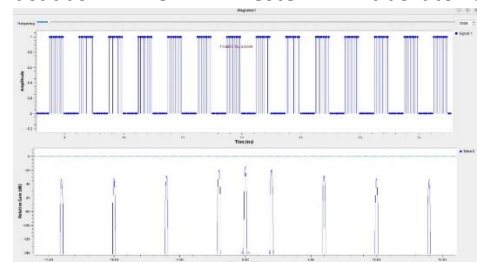


Ilustración 2 Análisis en tiempo y frecuencia de algunas señales

Los colores en las entradas y salidas de los bloques en GNU Radio sirven para representar los tipos de datos que se pueden tener, si tenemos un dato en punto flotante su color representativo será el naranja, si el dato es entero será verde y si el dato es tipo string (Arreglo) será púrpura, esto nos permite definir los tipos de datos con los que trabajarán nuestros bloques en la simulación.

Es importante analizar las señales en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia ya que ambos análisis nos aportan información valiosa a cerca de los fenómenos que están sucediendo en este caso en el sistema que se plantea. En el análisis del tiempo podemos observar si los valores de frecuencia y amplitud que estimamos para nuestras fuentes son correctos, en el análisis de la frecuencia podemos analizar de manera más profunda las partes que componen nuestra señal en el tiempo, podemos manipular con mayor facilidad la señal y podemos tener acceso a más datos fundamentales en el análisis de las señales.

2. **Teorema de Nyquist para $F_s = 5 \cdot F_{\text{señal}}$:** En es inciso se varía la frecuencia de la señal hasta obtener una relación de 5 a 1 con la frecuencia de la señal analizada, se puede observar que al tomar más puntos de análisis la señal muestreada tiene mayor calidad.
3. **Teorema de Nyquist para $F_s > 10 \cdot F_{\text{señal}}$:** Seguimos aumentando el valor de la frecuencia de muestreo para ver lo que sucede, en este caso la señal muestreada es casi perfecta, se observa que al aumentar la frecuencia de muestreo se necesitan más recursos computacionales para poder procesar toda la información.
4. **Efecto de Diezmar e Interpolación una señal:** Para este inciso realizamos el siguiente esquema de diagramas de bloques:

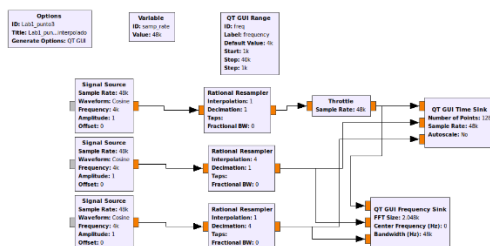


Ilustración 3 Diagrama de Bloques Interpolación y Diezmado

En el que tenemos un nuevo bloque que nos permitirá diezmar o interpolación una señal. El objetivo de este inciso es estudiar la importancia de las funciones interpolación y diezmar, se observa que interpolación una señal es tomar más muestras de la señal, esto hace que la señal se extienda un poco más en el eje horizontal, haciendo que su periodo aumente y como hay una relación inversa entre el periodo y la frecuencia, la frecuencia disminuye. Al comprobar el efecto de diezmar nos damos cuenta que se toman

menores muestras de la señal muestreada y esto hace que el periodo de la señal disminuye y su frecuencia aumente. El interpolación y diezmar una señal modifica directamente la frecuencia de la señal por tanto modifica también la velocidad con la que está señal es reproducida, para este caso teníamos señales sinusoidales y se pudo ver de manera clara como había señales más rápidas y algunas más lentas debido a estos dos efectos.

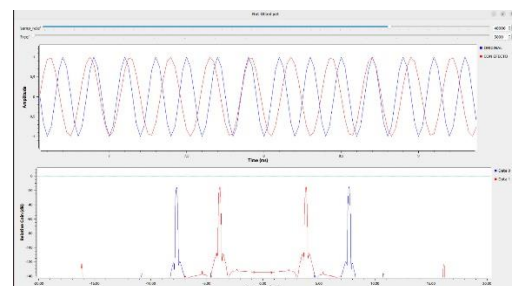


Ilustración 4 Efectos de Interpolación y Diezmado

5. **Pruebas de Efectos con Audios:** Para este inciso realizamos un diagrama de bloques con una entrada para analizar una señal de audio, se va a modificar la velocidad de reproducción y amplitud del sonido de una canción

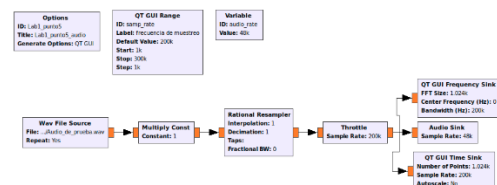


Ilustración 5 Diagrama para análisis de pistas de audio

Al realizar el esquema y modificar los parámetros de interpolación y diezmar, se comprueba que estos dos parámetros modifican la velocidad a la que se escucha el audio, y al multiplicar el audio por un escalar, se puede controlar el nivel del sonido que se oye.

6. **Implementando un Ecualizador:** Para este inciso se plantea simular un ecualizador por medio de filtros pasa bajas, pasa bandas pasa altas y lo que se estudió de los efectos de interpolación y diezmar.

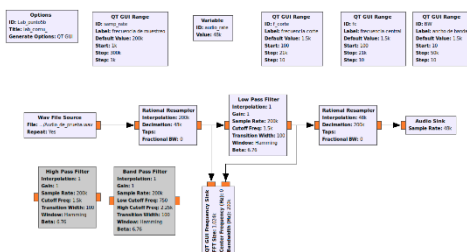


Ilustración 6 Diagrama Ecualizador

Al realizar el esquema y modificar las frecuencias de corte de los diferentes filtros se pudo filtrar algunos instrumentos de la canción o algunos espectros de audio que se pudieron analizar de manera individual luego del filtrado.

Los filtros pasa bajas son importantes en la implementación de sistemas de telecomunicaciones ya que nos permiten realizar filtrados en señales donde queremos obtener solo el componente de bajas frecuencias, nos sirven para eliminar ruido que tengamos en altas frecuencias y descomponer señales teniendo en cuenta las frecuencias. Los filtros pasa banda son filtros que nos permiten obtener información dentro del rango determinado dentro de sus frecuencias de corte, este filtro lo usamos en el laboratorio para poder analizar pistas de audio que se encontraban dentro de un espectro que no estaba ni en altas frecuencia ni en bajas frecuencias, se encontraba en frecuencias medias, este filtro nos permitió tener acceso a esas bandas que los filtros pasa bajas y filtros pasa altas no nos permitieron llegar. Los filtros pasa altas son filtros importantes en el área de comunicaciones ya que nos permite el paso únicamente a señales altas, para este laboratorio por medio de este filtro se pudo obtener las tonalidades altas de una pista de audio.

Cuando no se respeta el teorema de Nyquist la señal que se digitaliza no va a asemejarse a la señal analógica que se estaba estudiando, este fenómeno es conocido como aliasing y ocurre cuando tomamos muestras de una señal original en una frecuencia incorrecta, el resultado de esto es que nuestra señal obtenida tendrá defectos o tendrá diferencias con respecto a la señal que analizamos.

La simulación del ecualizador que realizamos en el laboratorio es muy útil ya que nos acerca más hacia las aplicaciones que tienen todos estos fenómenos que estamos estudiando, nos demuestra que la herramienta GNU radio es un software potente capaz de realizar simulaciones de distintas aplicaciones como este ecualizador. Realizar simulaciones de este tipo de instrumento (Ecualizador) Es importante para poder

caracterizar el instrumento como queremos sin necesidad de implementar el sistema electrónico físico. Ya teniendo esta implementación se puede pensar en una implementación de un ecualizador para algún instrumento musical o implementarlo para aplicar efectos en la voz de alguien.

3. Conclusiones

- En el desarrollo de toda la práctica se logró dejar en claro que para filtrar una señal al tanteo es demasiado difícil ya que son muchos datos, pero una vez teniendo claro como esta señal se puede muestrear y asimismo obtener con diferentes cálculos tanto la frecuencia de corte como el ancho de banda para implementar los diferentes filtros que existen, en donde también es posible interpolar o diezmar la señal haciendo que suene más rápido o más lento variando los valores tanto de interpolado como de diezmando y esto va a depender de los requerimientos de cada usuario y que es lo que este quiere escuchar u observar.
- muy importante en comunicaciones tener conocimiento de señales y a su vez sus conceptos claros ya que es esencial para familiarizarnos con estos tipos de procedimientos, un ejemplo claro es que en esta práctica fue fundamental el teorema de Nyquist. Por medio de todo el procedimiento experimentales logro observar cómo era su funcionamiento y a su vez hacer cambios, jugar con varios tipos de señales para ver los cambios que se iban presentando respecto al teorema, encontrando en esa experiencia el límite de Nyquist. Es importante resaltar que el transcurrir de la práctica, este grupo en especial tuvo varios inconvenientes en su realización ya que se tenían falencias en diferentes conceptos puesto que no se tenían claros, pero al aplicarlo en GNURADIO y simularlo facilito mucho las cosas dado que se tuvo conciencia en que es de suma importancia tener buena manipulación en la frecuencia de muestreo y frecuencia de la señal, y la afectación del diezmando e interpolación.

- Finalmente se logra concluir este laboratorio con éxito, dejando consigo muchos

conocimientos claros y cumpliendo con el objetivo principal de esta práctica el cual, además de familiarizarnos con el programa el cual indujo un gran interés sobre la manipulación de señales aún más en las señales de audio ya que es algo con lo que se encuentra día a día, y al entender, conocer su naturaleza y asimismo procesar correctamente señales fue muy enriquecedor para los integrantes de esta práctica.

Referencias

- [1] Vídeo útil para comprender el teorema de Nyquist. [¿Qué es el efecto alias \(aliasing\) y el teorema de Nyquist? - YouTube](#)
- [2] Información a cerca del simulador GNU RADIO. [Tutorials - GNU Radio](#)
- [3] “Univesidad Industrial de Santander.” [Online]. Available: www.uis.edu.co