

Radio Taller Fourier

Laboratorio 1

Introducción a GNU Radio y Análisis Espectral

1. Introducción

En este laboratorio comenzaremos a dar los primeros pasos con GNU Radio. Con esta excusa, empezaremos generando varias funciones, escuchándolas y analizando su espectro.

A lo largo de todo el curso, las preguntas que se plantean se deben entender como guía. Toda exploración por fuera del camino marcado es más que bienvenida. A no ser que la práctica lo explicita, no es necesario entregar un informe. Sin embargo, se espera que cada grupo lleve cuenta de los distintos experimentos realizados y respuestas a las preguntas planteadas. Además, se hará un breve control oral.

Antes de comenzar, es importante tener claro dos conceptos de GNU Radio:

- **Tipos de datos.** Todos los bloques en GNU Radio generan y/o reciben una sucesión (en principio infinita) de muestras. Toda muestra es de cierto tipo, y todos los bloques aceptan en su entrada (o generan en su salida) muestras de un tipo específico. Los tipos más usuales que usaremos nosotros son `Float` (números reales) y `Complex` (números complejos). Pero existen otros que pueden ser útiles como `Int`, `Byte` (o su equivalente `UChar`), o `Char`. El tipo de entrada (o salida) del bloque se marca con un color en el companion. Al conectar un bloque con otro, naturalmente el tipo de ambos debe coincidir (para marcar el error el companion marcará la flecha con rojo).
- **Tasa de muestras** (sample rate). Algunos bloques tienen una tasa temporal de muestras a la que consumen o generan muestras. Un ejemplo de esto que usaremos en esta práctica es la tarjeta de sonido (bloque `Audio Sink`). Por más información sobre este tema, centrado en audio, hay disponible en el EVA del curso material complementario que recomendamos leer. Otros bloques, como el `Signal Source` que usaremos más adelante, incluyen un parámetro `Sample Rate`, pero lo usan para calcular las muestras que generan, y no tienen una tasa de generación de muestras con algún sentido temporal.

2. Tareas

1. Abra el GNU Radio Companion y cree un flowgraph nuevo. Abra los dos bloques que vienen generados por defecto y lea la documentación de ambos. Para

estos primeros experimentos que siguen se puede usar el valor por defecto de `samp_rate` en 32000, aunque luego seguramente haya que modificarlo.

2. Agregue al flowgraph una fuente de muestras sinusoidales reales y escúchelo en la PC. Para esto utilice los bloques **Signal Source** y **Audio Sink**. Recuerde hacer coincidir la tasa de muestreo de la tarjeta de audio (**Sample Rate** en el **Audio Sink**) y la de la senoide. (Para correr un flowgraph basta con hacer click en el botón de “Play” o presionar F6.) Si tiene problemas con el audio, puede consultar el EVA del curso, sección “Algunos consejos sobre el Audio Sink”.

GNU Radio permite cambiar el valor de variables durante la ejecución del flowgraph, una función que puede ser muy útil y que ilustraremos a continuación.

3. Agregue un bloque **QT GUI Range**. Lea la documentación y los parámetros configurables. Ejecute el flowgraph. El resultado es que ahora cuenta con una variable cuyo valor será el indicado por el selector (y cuyo nombre es configurable en el campo **Id** del **QT GUI Range**). Modifique su flowgraph para que la frecuencia de la senoide sea elegida durante la ejecución mediante este selector.
4. ¿Qué rango de frecuencias es audible? Verifique con varias personas, en particular con alguien cercano a los 30 años o más.

Además de permitir escuchar la señal, GNU Radio por supuesto que permite verla.

5. Agregue un bloque **QT GUI Time Sink** a su flowgraph y aliméntelo con la señal sinusoidal. Como siempre, y quedará escrito por última vez, lea la documentación y los parámetros que se pueden configurar. Verifique que la señal deja de escucharse a cierta frecuencia, pero las muestras no son nulas ni mucho menos.

Es importante saber que todos los sinks gráficos del tipo QT se pueden configurar durante la ejecución presionando el botón del medio del mouse. Varios de los parámetros se pueden controlar también desde el **Control Panel**, que para este caso incluye un trigger (habilitable desde la lengüeta **Config** del bloque o también mediante el botón del medio).

También es posible hacer **análisis frecuencial** de la señal (transformada de Fourier). Para esto hay varias opciones, aunque aquí se explorará el bloque **QT GUI Frequency Sink** (otra posibilidad interesante es **QT GUI Waterfall Sink**, que analizaremos más adelante).

6. Conectar la fuente sinusoidal al **QT GUI Frequency Sink**. ¿Qué espera ver y qué ve?
7. Cambie temporalmente el tipo de muestras generadas por el bloque **Signal Source** a complejo. (El bloque de audio admite únicamente reales, pero puede deshabilitarlo mediante el botón derecho o presionando la letra D.) Verifique que la señal en el tiempo sea lo que espera. Respecto al espectro resultante, ¿cuál es la diferencia más importante respecto a lo anterior, en especial cuando usa frecuencias negativas?

Ahora nos concentraremos en dos parámetros en particular del bloque: **Window Type** y **FFT Size**. Trataremos de responder experimentalmente a la pregunta, ¿para qué sirven?

Pero antes veremos qué son. La primera observación es que la transformada de Fourier (incluso en tiempo discreto, como en este caso) requiere un período de observación infinito. Por lo tanto, para mostrar algún resultado el bloque **QT GUI Frequency Sink** tiene que necesariamente cortar (o “enventanar”) la función a analizar; es decir, considerar únicamente un intervalo finito por cada gráfica mostrada. Se trata entonces de la transformada de Fourier Discreta. El largo en muestras del intervalo se controla con el parámetro **FFT Size**. En términos temporales, si la tasa de muestreo es 32 kHz y **FFT Size** es 1024, entonces se tomarán 1024 muestras para cada estimación del espectro (y gráfica mostrada), lo que equivale a 1024/32000 segundos.

8. Si todavía no lo hizo, este es un buen momento de repasar la definición y relación entre la transformada de Fourier en tiempo continuo (TFTC), en tiempo discreto (TFTD) y la transformada discreta de Fourier (TDF o DFT por su sigla en inglés). Esta última se implementa mediante el algoritmo FFT (Fast Fourier Transform). ¿Qué cálculos realiza el bloque **QT GUI Frequency Sink**? En particular, ¿qué muestra en los ejes?
9. En vez de usar una única senoide, genere dos, ambas con frecuencias configurables desde respectivos sliders. Súmelas, escúchelas y analícelas mediante el **QT GUI Frequency Sink**. Concéntrese en el caso en que las sinusoides generadas tienen frecuencias similares, al punto que no se puedan distinguir en la gráfica. Ahora aumente el valor de la **FFT Size** y responda: ¿qué efectos tiene aumentar o disminuir el valor de la **FFT Size**?
10. Agregue marcadores a los puntos de la curva de la **QT GUI Frequency Sink** (usando el tab **Config** o durante la ejecución usando el botón del medio del mouse). Verifique que la cantidad de puntos es **FFT Size**. ¿Cuál es la resolución espectral entonces?

La segunda observación es que generalmente, además de simplemente recortar la señal, se le aplica una función denominada “ventana”. Si $(x[n+i])_{i=0,\dots,N}$ es la señal de entrada, entonces el bloque en realidad calcula la DFT de $(x[n+i]w_N[i])_{i=0,\dots,N}$, con $w_N[i]$ la ventana elegida. Por ejemplo, una ventana rectangular sería simplemente $w_N[i] = 1$. Una lista no exhaustiva de las posibles ventanas se puede encontrar en [https://es.wikipedia.org/wiki/Ventana_\(funci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ventana_(funci%C3%B3n)).

11. Lea el artículo de Wikipedia y entienda cómo se aplican las ventanas. Pruebe con las distintas opciones de **Window Type**. En particular, compare lo que se obtiene con la ventana por defecto (**Blackman-harris**) y la **Rectangular**. A su entender, ¿es la opción por defecto una buena opción?

En lo que sigue trataremos de ver en qué escenarios puede ser de interés usar otras ventanas.

12. Pruebe usando una senoide de 1000 Hz, **FFT Size** de 1024 y tasa de muestreo de 32 kHz. Compare en este escenario las mismas dos ventanas. Cambie la frecuencia a 1001 Hz. Justifique analíticamente lo que sucede en el caso de la ventana rectangular.

13. ¿Cuál es la mínima separación entre sinusoides que puede distinguir cada una de estas ventanas? Recuerde que puede hacer zoom marcando una región con el curso (y se vuelve atrás con click en el botón derecho).

Ahora considere dos tonos claramente distinguibles y haga foco en la amplitud de las componentes frecuenciales detectadas. Seguramente deba hacer zoom en esa parte de la gráfica y marcar los puntos.

14. Varíe la frecuencia de alguno de los tonos de entrada: ¿es constante la amplitud calculada? Haga la misma prueba con la ventana **Flat-top**.
15. Por último, haga una tabla que compare las tres ventanas consideradas hasta ahora en términos de (a) resolución espectral, (b) amplitud de las componentes espectrales y (c) comparación respecto al valor teórico del espectro de la señal de entrada. Para esto último tome algunas señales de las que conozca su transformada de Fourier, como por ejemplo (todas generables desde el propio bloque **Signal Source** cambiando el campo **Waveform**):
- Función rectangular con valor bajo 0 y alto 1.
 - Idem pero con valor bajo -1/2 y alto 1/2.
 - Triangular.

Terminaremos esta práctica familiarizándonos mínimamente con el **QT GUI Waterfall Sink** y el uso del micrófono. A este último se accede con un **Audio Source**, que genera muestras reales entre -1 y 1 a la tasa correspondiente.

16. Genere un diagrama nuevo con un **Audio Source** y conéctelo a un **QT GUI Waterfall Sink**. Preste atención a que las tasas de muestreo sean iguales. ¿Qué muestra el waterfall? ¿Qué ventajas puede tener sobre el **QT GUI Frequency Sink**? Busque información sobre espectrogramas.
17. Para ilustrar lo anterior, preparamos un archivo de audio (a 48 kHz) conteniendo un mensaje oculto. Escúchelo y compare lo que se obtiene con un **QT GUI Frequency Sink** y un **QT GUI Waterfall Sink**. Juegue con los parámetros de este último (tipo y tamaño de ventana, e incluso colores) hasta encontrar el mensaje oculto.¹

¹Atención porque si no conecta el bloque **Audio Sink** será imposible de visualizar. Ver los comentarios al principio de la letra referidos a tasas de muestras.