



Aplicación del filtro de media móvil y criterio de Nyquist a una señal de audio

Jonathan R. Silva, Nicole M. Bernal, Cristian F. Infante, Joseph C. Ramos, Lina S. Rodriguez

1. 160004432
2. 160004504
3. 160004518
4. 160004531
5. 160004538

*Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías.
Programa Ingeniería Sistemas*

Resumen

Este informe de laboratorio tiene como objetivo adquirir una señal de audio, preferiblemente voz, con un nivel conocido de ruido de fondo. Luego, se aplicará un filtro de media móvil a la señal para reducir el ruido blanco presente. La señal original y la señal filtrada se reproducirá para su comparación. Además, se explorará cómo diferentes frecuencias de muestreo, tanto por encima como por debajo del criterio de Nyquist, afectando la reproducción de la señal. Para poder lograr esto, se utilizó el lenguaje de programación Python.

Palabras clave: filtro media móvil, criterio de Nyquist, señal de audio, frecuencia

1) Introducción

El procesamiento de señales desempeña un papel central en diversas aplicaciones tecnológicas, desde las comunicaciones hasta el procesamiento de audio. Uno de los aspectos fundamentales de este campo es la capacidad de adquirir y procesar señales de manera eficiente y precisa. En este informe de laboratorio, nos enfocaremos en dos conceptos críticos en el procesamiento de señales: el filtro de media móvil y el teorema de muestreo de Nyquist.

El filtro de media móvil es una técnica ampliamente utilizada para suavizar y eliminar el ruido de las señales. Consiste en calcular promedios de valores adyacentes en una secuencia, lo que resulta en una señal filtrada que conserva las tendencias generales mientras elimina fluctuaciones no deseadas. Explicaremos cómo aplicar este filtro a una señal de audio, específicamente, la grabación de voz, con el objetivo de minimizar el ruido de fondo y mejorar la calidad de la señal.

El teorema de muestreo de Nyquist, por otro lado, establece una relación crucial entre la frecuencia de muestreo y la capacidad de reproducir una señal de manera fiel. Este teorema establece que para capturar y representar adecuadamente una señal continua, la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta presente en la señal. Investigaremos cómo variar la frecuencia de muestreo por encima y por debajo de este límite, y cómo esto afecta la calidad de la reproducción de la señal.

El propósito de este experimento es proporcionar una comprensión práctica de cómo el filtro de media móvil y el teorema de Nyquist influyen en el procesamiento de señales de audio. A través de este



proceso, se demostrará cómo mitigar el ruido de fondo y tomar decisiones críticas sobre la frecuencia de muestreo para lograr una reproducción de señal óptima.

2) Marco Teórico

Filtro de Media Móvil: El filtro de media móvil es una técnica ampliamente utilizada en el procesamiento de señales para suavizar y reducir el ruido en una señal. Funciona calculando el promedio de un conjunto de valores adyacentes en una secuencia. La versión más simple es el filtro de media móvil de orden

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(n - k)$$

- $y(n)$ es el valor filtrado en el instante n .
- $x(n)$ es el valor de la señal de entrada en el instante n .
- N es el orden del filtro, es decir, el número de valores adyacentes que se promedian.

Fórmula 1. Fórmula para filtro de media móvil

La operación de este filtro tiene el efecto de suavizar la señal al eliminar las fluctuaciones de corto plazo, manteniendo las características de tendencia a largo plazo.

Teorema de Muestreo de Nyquist: El teorema de muestreo de Nyquist es fundamental en el procesamiento de señales y establece una relación crítica entre la frecuencia de muestreo y la capacidad de reproducir una señal continua de manera adecuada. Este teorema establece que para evitar la pérdida de información en la señal, la frecuencia de muestreo (f_s) debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta presente en la señal continua (f_{\max}).

Matemáticamente, se expresa como:

$$f_s \geq 2 * f_{\max}$$

- f_s = frecuencia de muestreo
- f_{\max} = Es la frecuencia máxima presente en la señal continua.

Fórmula 2. Teorema de Muestreo de Nyquist

3) Sección experimental

Para llevar a cabo el experimento y el procesamiento de señales descritos en este informe, se utilizará el lenguaje de programación Python, junto con varias bibliotecas y herramientas especializadas. Python es ampliamente reconocido por su eficacia en la manipulación y el procesamiento de señales de audio, lo que lo convierte en una elección ideal para este experimento.

Adquisición de la Señal de Audio: Utilizaremos la biblioteca Soundfile para cargar una señal de audio, preferiblemente una grabación de voz con un nivel conocido de ruido de fondo, en un formato adecuado.



Filtro de Media Móvil: Implementaremos un filtro de media móvil utilizando las capacidades de procesamiento de señales de NumPy y SciPy. El orden del filtro y la ventana de promedio se ajustarán según sea necesario.

Variación de la Frecuencia de Muestreo: Modificaremos la frecuencia de muestreo de la señal de audio y explicaremos cómo esto afecta la reproducción de la señal. Esto se logrará ajustando la velocidad de reproducción o el factor de sobremuestreo/submuestreo.

Reproducción de Señales: Utilizaremos bibliotecas como Soundfile y PyAudio para reproducir tanto la señal de audio original como la señal filtrada, lo que permitirá comparar los resultados.

Análisis de Resultados: Utilizaremos Matplotlib para generar gráficos y representaciones visuales que ayuden a analizar los resultados del filtrado y la variación de la frecuencia de muestreo.

Consideraciones de Código:

Para mantener el informe conciso, se incluirán fragmentos de código relevantes que representen las partes más críticas del procesamiento computacional. Se priorizará la claridad y la legibilidad del código, con comentarios adecuados para explicar los pasos clave.

Código utilizado para el laboratorio:

```
# Filtro de media móvil
def filtroMediaMovil(audio, ventana):
    if ventana%2==0:
        ventana = ventana+1
    mitad_ventana = ventana//2.
    audio_filtrado=np.copy(audio)
    for i in range(mitad_ventana, len(audio)-mitad_ventana):
        ventana_actual = audio[i-mitad_ventana : i+mitad_ventana+1]
        audio_filtrado[i] = np.mean(ventana_actual)
    return audio_filtrado
```

La función primero verifica si el tamaño de la ventana es par y, si es así, lo incrementa en 1 para asegurarse de que sea un número impar (lo cual es común en filtros de media móvil). Luego, calcula la mitad de la ventana `mitad_ventana`.

A continuación, crea una copia del arreglo de audio de entrada llamada `audio_filtrado` para almacenar la señal filtrada. Luego, recorre la señal de audio desde `mitad_ventana` hasta `len(audio) - mitad_ventana` y en cada paso, toma una ventana de tamaño `ventana` centrada en el punto actual y calcula su media. Esta media se almacena en el punto correspondiente de `audio_filtrado`. Finalmente, la función devuelve `audio_filtrado`, que es la señal de audio con el filtro de media móvil aplicado.

```
# Aplicación del criterio de Nyquist
def criterioNyquist(audio, fs):
    criterio_debajo = int(fs / 2)
    criterio_encima = fs * 2
    print("Debajo del criterio: " + str(criterio_debajo) + "Hz")
    sd.play(audio, samplerate=criterio_debajo)
    sd.wait()
    print("Encima del criterio: " + str(criterio_encima) + "Hz")
    sd.play(audio, samplerate=criterio_encima)
    sd.wait()
```



La función calcula dos valores de frecuencia: `criterio_debajo` y `criterio_encima`, que representan la mitad y el doble de la frecuencia de muestreo, respectivamente. Luego, imprime estos valores en Hz.

Después, la función utiliza la biblioteca `sounddevice` (`sd`) para reproducir la señal de audio a las frecuencias `criterio_debajo` y `criterio_encima`. Esto se hace para demostrar la importancia del cumplimiento del criterio de Nyquist en la reproducción de señales de audio sin distorsión.

4) Evidencias

```
PS C:\Users\ASUS\UNIRUTAS> python -u "c:\Users\ASUS\OneDrive\Escritorio\SEÑALES\LABORATORIO 1.py"
Datos del audio
Cantidad de muestras: 288000
Frecuencia de muestreo: 48000Hz
Duración: 6.0s

Reproduciendo audio sin filtro
Reproduciendo audio filtrado

...Reproduciendo audio filtrado debajo y encima del criterio de Nyquist...

Debajo del criterio de Nyquist: 24000Hz
Encima del criterio de Nyquist: 96000Hz
```

Figura 1. Resultados mostrados por consola

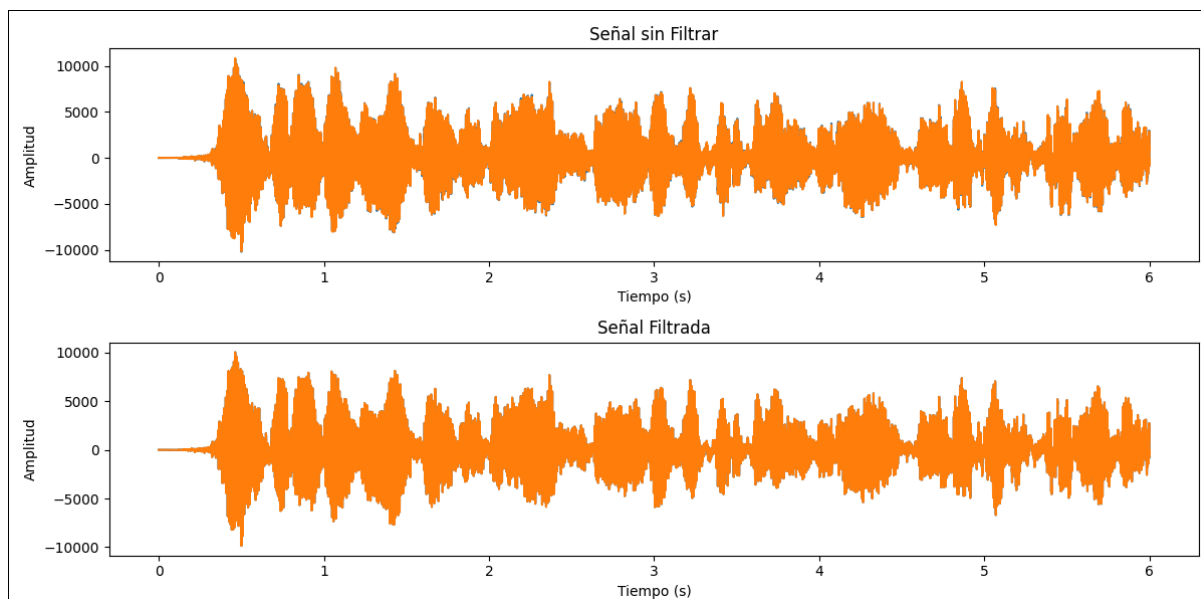


Figura 2. Comparación de las frecuencias de la señal filtrada y sin filtrar

5) Conclusiones

Tras aplicar el filtro de media móvil, se observó una notable reducción en el ruido presente en la señal de audio. Esto indica que el filtro es efectivo para eliminar las fluctuaciones no deseadas y suavizar la señal. Además, al aplicar el criterio de Nyquist para la frecuencia de muestreo, se garantizó que la señal se adquiriera de manera adecuada, evitando la pérdida de información y la distorsión. En conjunto, estos dos enfoques proporcionan una mejora significativa en la calidad de la señal de audio.

Además la combinación del filtro de media móvil y el criterio de Nyquist demostró ser versátil y aplicable en una amplia gama de contextos, desde la mejora de la calidad de la reproducción de audio en sistemas de entretenimiento hasta la adquisición precisa de señales en aplicaciones de procesamiento de audio en tiempo real.

6) Referencias

- [1] Oppenheim, *Señales Y Sistemas (Hi)*, 2a ed. Londres, Inglaterra: Prentice Hall & IBD, 1998.
- [2] “Diseño e implementación de filtro de media móvil de series didácticas mano a mano - programador clic”, *Programmer00click.com*. [En línea]. Disponible en:
<https://programmerclick.com/article/18781418773/>. [Consultado: 21-sep-2023].
- [3] M. Dos Santos, “Criterio de estabilidad de Nyquist: ¿Cómo funciona?”, *Polaridad.es*, 24-mar-2023. [En línea]. Disponible en:
<https://polaridad.es/criterio-de-estabilidad-de-nyquist-como-funciona/>. [Consultado: 23-sep-2023].