

Detección de interfaz y filtrado en el dominio de frecuencias

Recapitulación e introducción

Hemos visto la tecnología de tiempo de vuelo de pulso eco y el proceso mediante el cual se utilizan las ondas para detectar interfaces. Además, hemos conocido las ideas de ancho de banda y de frecuencia central y hemos aprendido a hacer un promedio. Ampliaré estos conceptos para determinar el tamaño de una bobina de papel mientras aborda el problema inherente de los datos ruidosos.

Los datos que ha recopilado hasta ahora han sido "limpios", es decir, la relación señal/ruido ha sido relativamente alta. Por ello, los ecos se detectaron y se analizaron fácilmente. Sin embargo, la realidad de la situación es que la información pertinente suele quedar oculta entre ruidos no deseados. En este ejercicio, explorará el proceso mediante el cual se utiliza la transformada discreta de Fourier para eliminar dicho ruido.

Objetivo

El objetivo de este ejercicio es utilizar un sensor ultrasónico de un solo elemento, en conjunción con técnicas de procesamiento de señales y de *machine learning*, para determinar de forma exacta el tamaño (o el tamaño variable) de una bobina de papel.

Filtraje del dominio de frecuencia

- Se le ha proporcionado una serie temporal de datos de muestra titulada " TOF1 ". Los datos son una secuencia única de pulso transmitido y la recepción de un reflejo de la bobina de papel.
- Este conjunto de datos se capturó utilizando un sensor de un solo elemento. La señal se muestreó cada 12,5 microsegundos dando como resultado el archivo de datos proporcionado. El pulso de transmisión es claramente visible; la reflexión recibida, sin embargo, tiene demasiado ruido.
- Su objetivo es implementar un filtro basado en la frecuencia para eliminar el ruido no deseado y determinar la distancia hasta la bobina de papel mediante el análisis de "Tiempo de vuelo".

Los siguientes pasos le guiarán en la creación de un filtro de frecuencia.

1) Parte A

- a. Cargue los datos proporcionados (en Excel, Matlab o Python).
- b. Encuentre el espectro de frecuencia de los datos (es decir, cuál es la salida del algoritmo FFT, utilizando los datos como entrada).
- c. Trace la magnitud del espectro de frecuencia frente a las frecuencias físicas.
- d. Estime la frecuencia central (F_c), el ancho de banda (BW) y el ancho del pico de frecuencia del sensor que se utilizó para recopilar los datos.

2) Parte B

- a. Encuentre los índices de todas las frecuencias que cumplen con la siguiente desigualdad:

$$F_c - \frac{BW}{2} \leq frequency < F_c + \frac{BW}{2}$$

- b. Recuerde que el espectro de frecuencia es simétrico con respecto a la frecuencia de muestreo (o aproximadamente 0 Hz, si "cambió" los resultados). En cualquier caso, debe haber dos picos en el espectro de frecuencia. Deberá ajustar la desigualdad anterior para encontrar los índices de ambos picos.

3) Parte C

- a. Ahora realizará el filtrado de frecuencia utilizando dos ventanas diferentes (una ventana reducida, gaussiana, y una ventana rectangular).
- b. Ventana rectangular
 - i. Cree un nuevo vector de ventana (llamado "Rect_Window") del mismo tamaño que el espectro de frecuencia. Inícielo todo a cero.
 - ii. Recorra los elementos del vector y establezca los valores de los elementos correspondientes a los índices de la parte B a 1. Trace este vector y la magnitud del espectro de frecuencias en la misma figura.
 - iii. Cree un vector (llamado "Rect_FreqSpectrum") del mismo tamaño que el espectro de frecuencia. Complete este vector realizando una multiplicación elemento a elemento entre "Rect_Window" y el espectro de frecuencia de valor complejo.

- iv. **Trace el espectro de frecuencia filtrado y no filtrado uno al lado del otro y compárelos.**
- v. Obtenga los datos de series de tiempo filtrados, realizando la siguiente secuencia de operaciones
$$\text{Data_filtered} = \text{real} (\text{ifft} (\text{Rect_FreqSpectrum})) .$$
- vi. Trace los datos filtrados ("Data") y los que están sin filtrar ("Data_filtered") y compárelos.
- c. Ventana (gaussiana) suave
 - i. Cree un nuevo vector de ventana (llamado "Gauss_Window") del mismo tamaño que el espectro de frecuencia. Inícielo todo a cero.
 - ii. La ecuación de la ventana gaussiana es $\exp(- 1/2 [(\text{frequency}-F_c) / (BW/2)]^2)$. Debe combinar las ventanas para ambos picos (usando dos valores apropiados para F_c). Trace "Gauss_Window" y la magnitud del espectro de frecuencias en la misma figura.
 - iii. Cree un vector (llamado "Gauss_FreqSpectrum") del mismo tamaño que el espectro de frecuencia. Complete este vector realizando una multiplicación elemento a elemento entre "Gauss_Window" y el espectro de frecuencia de valor complejo.
 - iv. **Trace el espectro de frecuencia filtrado y no filtrado uno al lado del otro y compárelos.**
 - v. Obtenga los datos de series de tiempo filtrados, realizando la siguiente secuencia de operaciones
$$\text{Data_filtered} = \text{real} (\text{ifft} (\text{Gauss_FreqSpectrum})) .$$
 - vi. Trace los datos filtrados ("Data") y los que están sin filtrar ("Data_filtered") y compárelos.
- 4) Una vez que haya filtrado los datos, estime la distancia hasta la bobina de papel. La velocidad del sonido en el aire es de unos 340 m/s.
- 5) Compare los resultados obtenidos utilizando las dos ventanas. **¿Qué ventana produce un resultado cualitativo mejor? ¿Por qué cree que ocurre esto?**