

7. FILTROS ADAPTATIVOS

Conocimientos previos:

- Sistemas Lineales e Invariantes en el Tiempo (LTI)
- Filtrado digital de señales
- Convolución

Competencias:

Meta ABET	Resultados de Aprendizaje
Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de Ingeniería aplicando principios de Ingeniería, ciencias y matemáticas	Hace uso de criterios de ingeniería para crear y aplicar sistemas de digitalización de señales.
	Aplica técnicas de procesamiento de señales a diferentes tipos de señal de tiempo discreto identificando sus propiedades.
	Aplica y desarrolla algoritmos de filtrado de señales con el fin de eliminar o disminuir el ruido y extraer la información útil.
Habilidad para comunicarse efectivamente ante un rango de audiencias	Aplica diferentes estrategias de comunicación (escrita, oral, gráfica, etc.) para dar a entender conceptos, métodos y aplicaciones.
Capacidad de desarrollar y llevar a cabo la experimentación adecuada, analizar e interpretar datos y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.	Realiza pruebas y experimentos con datos reales y/o simulados usando herramientas de ingeniería.

Recursos:

https://github.com/nelsonft/CyM_PDS

Clases grabadas:

<https://youtu.be/yU0rDMhvaqA>
<https://youtu.be/WWLtm7tUfCg>
https://youtu.be/Z_p9521jNYw
<https://youtu.be/aFnDuQr986U>

Metodología:

Los temas de esta asignatura se manejan mediante la estrategia de aula invertida. Esta técnica se basa en que el estudiante resuelve una actividad propuesta consultando información sugerida por el docente y/o obtenida a partir de la búsqueda propia. Se espera que con la investigación y desarrollo de la actividad previa se generen curiosidad, preguntas, dudas, etc. sobre el tema. Previo al espacio de la clase se aplicará un test de entrada (Aula virtual) y luego mediante una actividad colectiva y con el apoyo del docente se resolverán las dudas y reforzarán los conceptos para que posterior a la clase los estudiantes desarrollen un producto que demuestre el aprendizaje logrado sobre del tema.

El presente documento corresponde a una guía para adelantar el trabajo previo al espacio de la clase. Para desarrollarlo, use los recursos sugeridos y/o haga su propia búsqueda de información.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Del tema anterior Ud debe entender que para el diseño de los filtros convencionales se parte del paradigma de que la información es separable en el dominio de la frecuencia. Lo anterior quiere decir que la información de interés y la información no deseada (ruido) están en diferente ancho de banda. En la práctica se pueden dar situaciones donde es necesario extraer información bajo condiciones que no cumplen con la condición mencionada; por lo tanto, los filtros convencionales no logran un buen desempeño en tareas donde la información no es separable en el dominio de la frecuencia.

Tomando como base lo anterior, algunas aplicaciones de procesamiento digital de señales que cumplen con la condición mencionada anteriormente son:

- Electrocardiografía fetal.
- Cancelación de eco en canales de comunicación.
- Identificación de sistemas.
- Eliminación de ruido blanco.
- Predicción de señales.

Realice una revisión en la literatura sobre las aplicaciones mencionadas e identifique las características que se alejan del paradigma de la separabilidad en frecuencia o que harían posible que un filtro convencional no tenga buen desempeño.

En el procesamiento digital de señales existen múltiples técnicas que pueden ser utilizadas para tratar problemas como los mencionados, dentro de ellas están los filtros adaptativos. Un filtro adaptativo es una estructura FIR que, a diferencia de los filtros convencionales ya estudiados, posee la característica de no tener coeficientes constantes. En ese caso los filtros adaptativos poseen algoritmos que modifican paso a paso los coeficientes para ajustar la respuesta del filtro a una aplicación específica. Esta característica los convierte en sistemas variantes en el tiempo lo que conlleva que estos filtros no se puedan analizar con las estrategias clásicas de análisis de sistemas (transformada Z). Es por ello que para diseñar y analizar este tipo de filtros la simulación computacional es la herramienta principal. Se le recomienda que profundice en la definición y aplicación de los filtros adaptativos, para ello tome como fuente de información los recursos sugeridos y a partir de ello haga su propia búsqueda de información para complementar lo que considere necesario.

El ajuste de los mencionados coeficientes del filtro adaptativo se logra mediante un algoritmo de adaptación, de allí el nombre de esta técnica. El más común de los algoritmos se conoce como LMS (Least Mean Squares) por las siglas en inglés de mínimos cuadrados medios. Este algoritmo busca reducir el error cuadrático medio entre la señal de salida del filtro y una señal de referencia. La forma como se puede reducir el error mencionado es aplicando un método de optimización que ajuste los coeficientes del filtro. El algoritmo de optimización más utilizado en esta y otras aplicaciones se denomina descenso de gradiente o gradiente descendente. Como su nombre lo indica el método está basado en alcanzar los puntos mínimos de una función a partir de calcular sus derivadas. Esta idea tiene su origen en la estrategia analítica para encontrar los puntos mínimos o máximos de una función unidimensional. La extensión del método analítico unidimensional al caso multidimensional supone varios retos que lo condicionan para que sea necesario aplicar una solución numérica (computacional), hecho que lo convierte en un método idóneo para aplicaciones de tiempo discreto.

En la web existen múltiples recursos donde podrá ver en detalle cómo se desarrolla el algoritmo LMS para los filtros adaptativos. Además del algoritmo LMS existen otros que buscan mejorar algunas de las limitaciones que tiene el algoritmo LMS, tal es el caso de los algoritmos NLMS y RLS.

El algoritmo NLMS (Normalized Least Mean Squares) es una versión mejorada del LMS. En este caso el paso del algoritmo de optimización (gradiente descendente) para el ajuste de los coeficientes es variable, cosa que en el LMS es constante. Esto supone algunas ventajas, ¿Cuáles son las mencionadas ventajas?, ¿Cómo se realiza este proceso de modificar el paso en cada iteración del algoritmo? Revise el siguiente [documento digital](#) para que estudie el método y su aplicación.

Los filtros adaptativos basados en RLS (Recursive Least Squares) por otro lado usan un término de decaimiento exponencial sobre las muestras de la señal de entrada. En otras palabras, las muestras pasadas más lejanas tienen menos importancia que las muestras pasadas cercanas a la hora de adaptar los coeficientes del filtro. En la derivación de la estrategia de optimización, se llega a requerir el cálculo de las matrices de autocorrelación y correlación cruzada entre la señal de entrada y la señal de referencia. Se le recomienda revisar este [enlace](#) para consultar el trasfondo del método y su derivación, así como los posibles detalles de implementación.

Para realizar el diseño e implementación de estos filtros es necesario realizar la simulación computacional utilizando datos previamente calculados. MATLAB ofrece funciones que ayudan en esta tarea. Consulte los siguientes enlaces relacionados con el uso de la función `lms` en Matlab con la cual se implementan filtros adaptativos (tenga en cuenta la versión de Matlab y el toolbox correspondiente):

<https://www.mathworks.com/help/dsp/ref/dsp.lmsfilter-system-object.html>

<https://www.mathworks.com/help/dsp/ug/lms-adaptive-filters.html>

Desde la definición del filtro adaptativo este se puede ver como una caja o bloque que tiene dos entradas y una salida. Una de las entradas corresponde a la señal que se desea filtrar, la segunda entrada es una señal patrón o señal de referencia. La salida corresponde a la señal filtrada. El algoritmo de adaptación inicia por tomar la señal de salida y la compara con la señal de referencia, esta comparación genera la señal de error que es tomada por la estrategia de adaptación para encontrar el factor de ajuste de los coeficientes.

Para una cierta aplicación en la que se desee o necesite aplicar los filtros adaptativos es necesario identificar cuál será la señal de entrada y cuál la señal de referencia. Lo anterior es vital para el desempeño del filtro, una mala selección de estas señales implica que el filtro tenga un pobre desempeño. En otras palabras, para cada problema o aplicación la selección de las señales de entrada y de referencia es un proceso creativo por parte del diseñador.

Apóyese en el siguiente video para la implementación de filtros adaptativos usando las funciones de MATLAB:

<https://www.youtube.com/watch?v=24N4m7rxCz0>

EJERCICIO PRÁCTICO

En el repositorio GitHub encontrará el código fuente `Ejemplo_Fadap`. En ese código se plantea la eliminación de ruido mediante la aplicación de un filtro adaptativo que usa el algoritmo LMS; para este caso el algoritmo LMS se implementó desde cero (no se usaron funciones o librerías). Revise el paso a paso de la implementación para que entienda el proceso. Una vez corra el programa y entienda cada paso, realice modificaciones en los parámetros del filtro (orden y paso). Determine cuáles pueden ser los valores óptimos con los que se logra la eliminación de ruido, para ello haga uso de las medidas cuantitativas que se emplean para medir el desempeño del filtro. Durante el proceso observe qué condiciones hacen que el filtro no converja.

A continuación en el código fuente Ejemplo_LMSFilter encontrará el mismo caso desarrollado antes pero usando la función LMSFilter del toolbox DSP System de Matlab y la librería padasip en Python. Compare los resultados de los ejemplos. ¿Puede evidenciar diferencias?, de haberlas ¿A qué atribuye dichas diferencias?

Ahora debe realizar implementaciones de los filtros adaptativos que usan los métodos Normalized Least Mean Squares (NLMS) y Recursive Least Squares (RLS) tomando como base los ejemplos anteriores. Use el toolbox de Matlab y la librería de Python para esta parte. Se le recomienda revisar la literatura para entender los métodos.

AUTOEVALUACIÓN:

En este apartado debe realizar una autoevaluación del proceso desarrollado y de las habilidades adquiridas con las actividades propuestas. Para ello responda las siguientes preguntas otorgando el valor porcentual (0 - 100 %) a cada una de ellas.

1. ¿Desarrolló la totalidad de las actividades propuestas?
2. ¿La metodología le permitió construir saberes significativos que le aporten al desarrollo del tema planteado?
3. ¿Qué tanto fue su grado de dedicación durante el desarrollo de las actividades planteadas?
4. ¿Qué tanto fue su grado de interés en el tema propuesto?
5. Otorgue un valor porcentual a cada uno de los indicadores de las metas propuestas según su cumplimiento

RETROALIMENTACIÓN:

En esta sección se espera que, a partir de lo vivido durante el desarrollo de las actividades propuestas, Ud pueda dar algunas recomendaciones o sugerencias sobre el tema y el desarrollo de estas. Tenga en cuenta que sus aportes enriquecen el ejercicio docente, gracias.