

## DISEÑO DE UNA INTERFAZ PARA LA SIMULACIÓN DE FILTROS ADAPTATIVOS BASADOS EN EL ALGORITMO LMS

**Fernando Adan Serrano Orozco**

*ESIME Culhuacan  
Instituto Politécnico Nacional  
fserrano@ipn.mx*

**Xochitl Cabrera Rivas**

*ESIME Culhuacan  
Instituto Politécnico Nacional  
xcabrerarivas@gmail.com*

**Juan Gerardo Ávalos Ochoa**

*ESIME Culhuacan  
Instituto Politécnico Nacional  
javaloso@ipn.mx*

**Jesús Roberto Del Ángel Ruíz**

*ESIME Culhuacan  
Instituto Politécnico Nacional  
jroberto1097@gmail.com*

### Resumen

*En este trabajo se presenta el diseño de una interfaz gráfica en la GUI de Matlab para la simulación de un sistema adaptativo basado en el algoritmo de mínimos cuadrados promediados (least mean square -LMS) utilizando una estructura como identificador de sistemas. Dicha interfaz tiene por objetivo ser una herramienta útil y práctica para el estudio de los identificadores de sistemas y con ésta poder interpretar los resultados, ya que el ambiente gráfico y amigable proporciona al usuario una manera más clara, rápida y sencilla de simular estos sistemas, sin la necesidad de que el usuario tenga conocimiento previo de la programación de filtros adaptativos.*

*Palabras clave: Filtros adaptativos, Interfaz de usuario, Algoritmo LMS, Identificador de sistemas*

Una de las razones fundamentales para elegir un filtro adaptativo frente a un filtro de coeficientes fijos es porque estos filtros varían su comportamiento en función de las señales recibidas, esto es posible mediante el uso de un algoritmo de adaptación el cual ajusta los coeficientes  $w(n)$  en cada iteración.

La figura 1 muestra la estructura general de un filtro adaptativo, el cual recibe como entrada la señal  $x(n)$ , posterior a ello la señal de salida del filtro adaptativo  $y(n)$  se resta con la señal de referencia o señal deseada  $d(n)$  para obtener la señal de error  $e(n)$  que será un parámetro de entrada en el algoritmo adaptativo y servirá para adaptar los coeficientes  $w(n)$ .

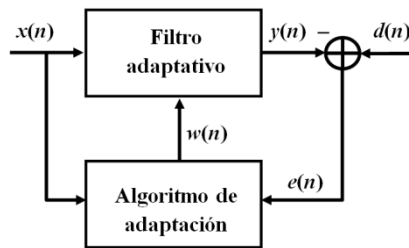


Figura 1. Estructura general de un filtro adaptativo

El algoritmo de adaptación resta la salida  $y(n)$  con la señal de referencia  $d(n)$  y después de varias iteraciones calcula los mejores coeficientes del filtro para que  $y(n)$  se parezca de forma estadística a  $d(n)$ , esto quiere decir que el algoritmo busca minimizar la señal de error  $e(n)$ , ecuación (1).

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (1)$$

El algoritmo de adaptación más utilizado es el de mínimos cuadrados promediados (LMS - Least Mean Square) debido a su baja complejidad computacional. Este algoritmo se representa mediante la ecuación (2)

$$w(n+1) = w(n) + \mu e(n)x(n) \quad (2)$$

Donde  $w(n+1)$  es el peso siguiente del filtro,  $w(n)$  es el peso actual,  $\mu$  es el factor de convergencia,  $x(n)$  es la señal de entrada al filtro y  $e(n)$  es la señal de error (1).

Una de las estructuras utilizadas para los filtros digitales es la transversal (figura 2), la cual es un filtro de respuesta finita (FIR) en donde los elementos básicos son: una línea de elementos de retardo representada por  $z^{-1}$ , bloques de ganancia que representan los coeficientes o pesos, los elementos de multiplicación y sumadores.

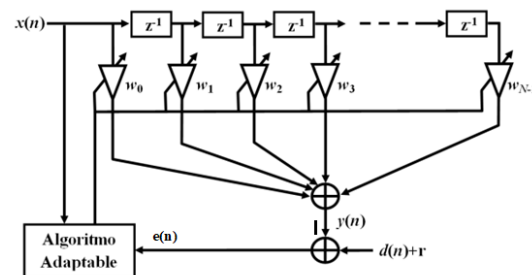


Figura 2. Filtro adaptativo de respuesta al impulso finita (FIR)

En este tipo de estructuras el número de operaciones por muestra de salida es finito, se puede decir que son filtros implementados por medio de la expresión de la convolución, la cual se muestra en la ecuación (3), donde el número de elementos de retardo  $N-1$  es referido como el orden del filtro, el papel de cada coeficiente en el filtro es multiplicar cada muestra de la entrada  $x(n)$  por un coeficiente  $w(n)$ , así con cada multiplicador conectado a la  $k$ -ésima muestra  $x(n-k)$  se obtiene el producto interno  $w(k)x(n-k)$  conocido como la salida del filtro adaptativo, que también es llamado suma de convolución finita.

$$y(n) = \sum_k^{N-1} w(k)x(n-k) \quad (3)$$

En estos filtros adaptativos el factor de convergencia  $\mu$  determina el error mínimo local, así como la velocidad de convergencia, siendo directamente proporcional a la velocidad de convergencia e inversamente proporcional al error cuadrático medio mínimo.

El estudio de estos filtros, así como diferentes variantes de los algoritmos es amplia, sin embargo, hay poca información sobre la implementación en una interfaz, donde el usuario pueda manejar de manera práctica y sencilla los diferentes parámetros del sistema en mención.

Existen algunas aportaciones realizadas por diferentes autores, (Hiroyuki Takanashi 2006) propone una interfaz gráfica en Matlab con la finalidad de que usuarios no familiarizados con comandos de programación y procesos de identificación de sistemas, puedan simular y analizar los sistemas identificadores. Cabe notar que el autor propone un proceso de identificación en el cual no utiliza un sistema adaptativo.

En otro artículo (Dorde Damnjanovic 2017), propone un laboratorio utilizando LabView para la simulación de identificadores de sistemas por medio del algoritmo de adaptación LMS, en esta aplicación los estudiantes pueden tener acceso remoto por medio de una plataforma CECyEClon para que se pueda trabajar desde casa.

Las aportaciones antes mencionadas utilizan diferentes plataformas y métodos para la identificación de sistemas, los cuales representan ciertas desventajas como la necesidad de una conexión a internet y el costo de una licencia para LabView. Esto da camino a proponer una interfaz con un ambiente gráfico y amigable, en donde el usuario podrá realizar diferentes experimentos, así como

observar y analizar los resultados arrojados por el sistema cada vez que sus características sean modificadas, es decir, el usuario podrá variar parámetros sin la necesidad de conocer el lenguaje de programación. Para ello se propone el uso del ambiente gráfico GUI de Matlab.

### Filtro Adaptativo como Identificador de Sistemas

Los identificadores de sistemas son un ejemplo de aplicación de los sistemas adaptativos, en donde básicamente se modela un sistema lineal desconocido, denominado planta. La estructura general de estos sistemas se muestra en la figura 3.

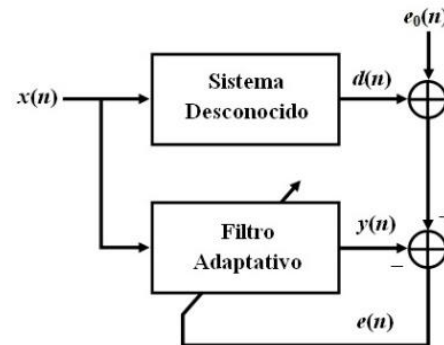


Figura 3. Filtro adaptativo configurado como identificador de sistemas

En esta configuración, la señal de entrada  $x(n)$  es la misma tanto para el sistema desconocido como para el filtro adaptativo, la señal de error  $e(n)$  es la diferencia de la respuesta del sistema desconocido y de la salida del filtro  $y(n)$ , ésta actualiza los coeficientes del filtro de forma que la salida del filtro se aproxime a la salida del sistema desconocido  $d(n)$ . Además,  $e_0(n)$  es un ruido aditivo que representa alguna perturbación que puede contaminar la señal deseada durante el proceso.

Los identificadores de sistemas han sido tema de estudio debido a su utilidad no sólo en el diseño de sistemas de control, sino también en el modelado de una planta, la cual puede ser descrita desde una simple señal periódica hasta ruido con diferentes características, un filtro pasa-bajas, pasa-altas, e incluso cualquier función que represente al sistema (función de transferencia). Debido a su importancia en los estudios de ingeniería, estos deberían contar con una herramienta básica para realizar distintos tipos de experimentos con los mencionados sistemas identificadores y con la finalidad de entender su funcionamiento, así como interpretar los resultados obtenidos por el mismo.

### Diseño de la Interfaz Gráfica

La interfaz de usuario es un medio por el cual el usuario puede establecer una comunicación con la computadora o máquina. Se busca que sean fáciles de entender e interpretar para poder hacer acciones mediante botones y recursos que suelen ser amigables e intuitivos. Es el espacio donde se produce la interacción máquina-humano y permite el control para cumplir ciertos objetivos. Matlab es un *software* muy poderoso que se enfoca principalmente en realizar cálculos con matrices y tiene múltiples herramientas en las diferentes áreas del conocimiento para su estudio. También puede crear aplicaciones que establecen comunicación con el usuario, es decir, se pueden crear interfaces de usuario que permitan una interacción y/o el control de manera sencilla de aplicaciones diseñadas dentro del software. Las aplicaciones diseñadas en la GUI de MATLAB son programas que, en una ventana de usuario, se automatizan ciertas tareas o cálculos concretos. En la interfaz se incluyen controles tales como menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes.

Utilizando la GUI de Matlab se pueden diseñar de manera personal una gran variedad de ambientes intuitivos e interactivos que ayuden al estudio, comprensión, ejemplificación etc. de temas o experimentos que se puedan plasmar en la interfaz, mediante ésta, sin tener la necesidad de aprender un lenguaje o escribir algún código en específico.

Por ejemplo, podemos realizar la simulación de un "identificador de sistemas" en donde se puedan variar sus parámetros para obtener ciertos resultados numéricos o gráficas donde se observe el comportamiento de parámetros deseados.

Mediante el uso de la GUI de Matlab se diseña una interfaz gráfica para la simulación de un identificador de sistemas, en la cual el usuario podrá modificar diferentes parámetros como:

- Entrada  $x(n)$ : El programa tiene la opción de poder seleccionar tres tipos de entradas: una señal senoidal, la suma de dos señales senoidales y una señal senoidal con ruido.
- Sistema desconocido: Es un parámetro en el cual se tiene la opción de elegir tres sistemas: filtro pasa-bajas, pasa-altas y pasa-banda.
- Filtro Adaptativo: En esta parte se podrán modificar el orden del filtro  $N$  y el factor de convergencia  $\mu$ .
- Parámetros generales: El número de iteraciones que se ejecutan, el de experimentos y el ruido aditivo al sistema se podrán modificar.

En la figura 4 se observa la ventana principal de la interfaz, en ésta se muestran los diferentes menús (resaltados en color), en donde el usuario podrá elegir y modificar las

características del sistema. Se divide en tres secciones (1,2,3) las cuales se muestran con mayor detalle en las figuras 4a,4b y 4c.

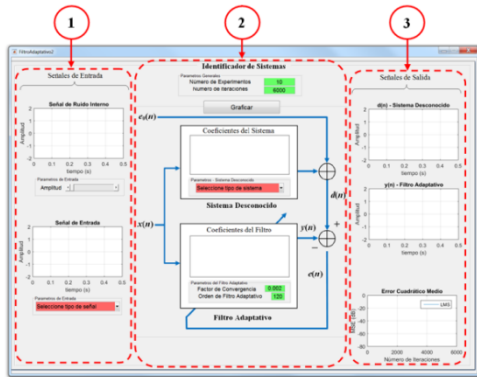


Figura 4. Ventana principal de la interfaz

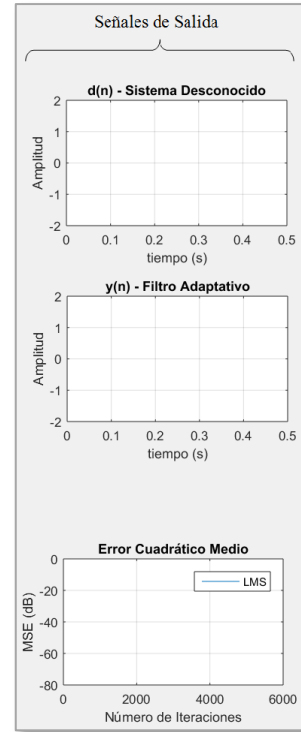


Figura 4b. Sección 3 de la ventana principal

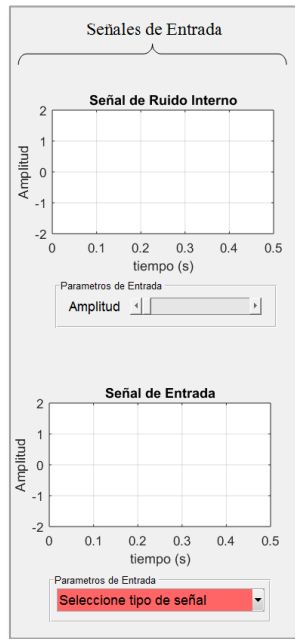


Figura 4a. Sección 1 de la ventana principal

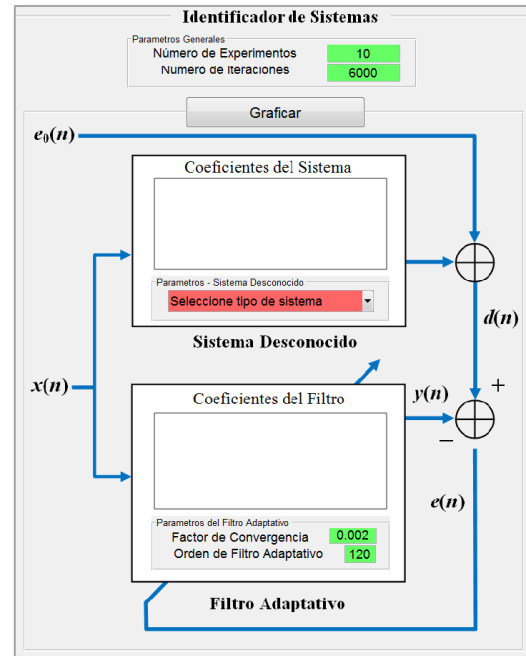


Figura 4c. Sección 2 de la ventana principal

En la ventana principal (figura 4) el usuario podrá visualizar todos los parámetros modificables, así como las gráficas de la salida del filtro, la salida del sistema desconocido y del error cuadrático medio, así como los coeficientes tanto del filtro como del sistema desconocido.

### Pruebas de la interfaz

Para poder observar correctamente cada una de las gráficas resultantes, primero se debe seleccionar en el menú desplegable de la figura 4a (resaltado en color rojo) el "tipo de señal" de entrada  $x(n)$  y posteriormente el "tipo de sistema" desconocido, figura 4c. En la figura 5 se muestra el ejemplo cuando se selecciona como entrada una suma de señales senoidales, también se varía la amplitud de la señal de ruido aditivo utilizando el elemento deslizable.

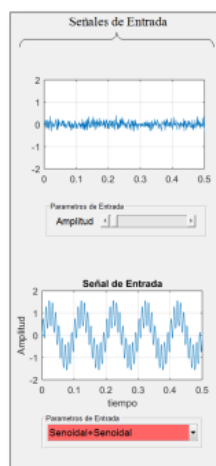


Figura 5. Sección de la ventana de la interfaz con gráfica de la señal de entrada (suma de senoides).

Posteriormente se deben modificar los parámetros del filtro adaptativo (resaltados en color verde), el factor de convergencia (0.002) y el orden del filtro (120). También el número de experimentos (10) y las iteraciones a ejecutar (6000). Los resultados no se

visualizan de inmediato, se debe dar clic en el botón de graficar (figura 6).

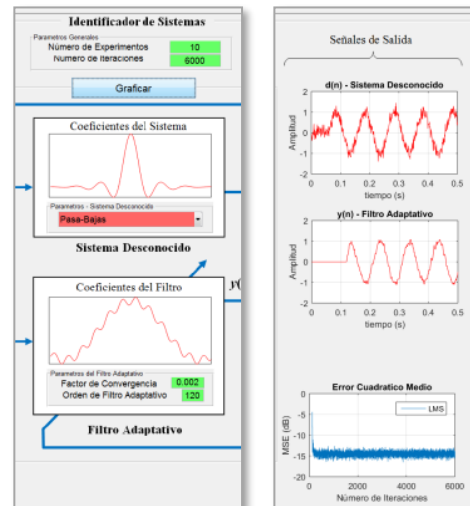


Figura 6. Secciones de la ventana con gráfica de los coeficientes y resultados cuando a la entrada se tiene una suma de señales senoidales

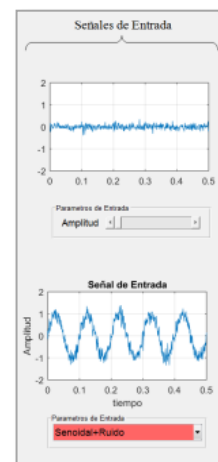


Figura 7. Sección de la ventana de la interfaz con graficas de la señal de entrada (senoidal mas ruido).



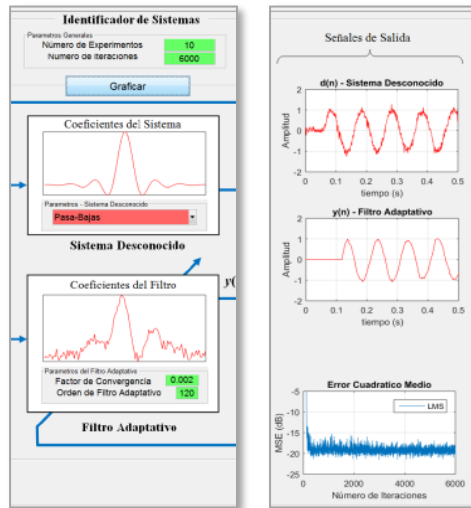


Figura 8. Secciones de la ventana con gráfica de los coeficientes y resultados cuando a la entrada se tiene una señal senoidal más ruido aditivo

En la figura 7 y 8 se muestran las gráficas resultantes del comportamiento del filtro adaptativo cuando a la entrada se selecciona una señal senoidal con ruido blanco gaussiano (el sistema a identificar se deja igual como un filtro pasa-bajas). La grafica del error cuadrático medio (MSE), también es mostrada, así como las graficas de los coeficientes.

## Conclusiones

La interfaz de usuario diseñada pretende ser una herramienta de gran ayuda que permita observar y analizar mediante un ambiente gráfico el comportamiento de un filtro adaptativo como identificador de sistemas.

En las pruebas del *software*, se muestra que el ambiente gráfico funciona de manera adecuada y puede considerarse como una aplicación donde el usuario podrá simular un identificador de sistemas sin necesidad de

tener los conocimientos de programación en filtros con Matlab.

## Referencias

Albiol Antonio, Naranjo Valery, (1999) *Tratamiento Digital de la Señal: Teoría y Aplicaciones*, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, pp. 132-134,142-148.

Craig S. Lent, (2013), *Learning to program with Matlab - Building GUI Tools*, Ed. John Wiley & Sons.

Diniz Paulo S. R. (2013), *Adaptive Filtering*, Ed. Springer, 2-3,14-15.

Đorđe Damjanović, Radojka Krneta, Dušan Živković, (2017), Online Identification of Unknown System in Adaptive Filtering Laboratory, *4<sup>th</sup> Experimental International Conference*, University of Algaive, Faro, Portugal.

Farhang-Boroujeny, B. (2013). *Adaptive Filters: Theory and applications*, Ed. John Wiley & Sons

Kuo S. M., Lee B. H., and Tian W. (2013). *Real-time digital signal processing: implementations and applications*. England: Wiley, pp. 194-196.

Sayed A. H. (2008), *Adaptive filters*, Hoboken, N. J. Wiley- Interscience, pp. 166.

Takanashi Hiroyuki, (2006), Development of a GUI for a System Identification Device using Matlab, *14<sup>th</sup> IFAC Symposium on System Identification*, Newcastle.