

Diseño de filtros adaptativos para la cancelación de señales periódicas acotadas en frecuencia

Antonio Piñera Lucas

Escuela Universitaria de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia Ctra. Nazaret-Oliva s/n. 46730 Gandía

Introducción

El objeto de la presente comunicación, como bien indica su nombre, es la cancelación de señales periódicas acotadas en frecuencia mediante filtrado adaptativo, necesario para muchas y variadas aplicaciones reales. Para ello, se ha diseñado un sistema adaptativo (que se puede incluir en lo que se conoce como técnicas de control activo de ruido), utilizando el algoritmo LMS (Least Mean Square), el cual se implementa utilizando la estructura de un filtro transversal (FIR).

Aunque, en principio, el foco de interés es estudiar el comportamiento del sistema adaptativo para señales periódicas acotadas en frecuencia (dado el gran interés que presentan, ya que son asimilables a ellas ruidos que proceden de un sistema mecánico con régimen de giro variable), también se han sometido a análisis señales de naturaleza aleatoria e impulsiva (en concreto, lo que se midió para realizar este estudio, fue el ruido aéreo producido por la vibración de una estructura excitada por impulsos).

Como complemento importante, se ha confeccionado un software que se ejecuta bajo el entorno de Matlab y presenta un aspecto como el de cualquier programa que funciona bajo Windows, con el cual se han efectuado todas y cada una de las simulaciones realizadas.

Descripción del sistema adaptativo diseñado

Como se puede observar en la figura 1, la aplicación realizada consiste en utilizar dos micrófonos, uno para recoger la señal de referencia (que, en principio consta de señal perturbante en su mayoría) y otro para recoger la señal primaria, que consta de señal deseada (en este caso concreto voz) y de señal perturbante. Para generar la señal perturbante se ha utilizado un altavoz. Cabe destacar que estas medidas se han realizado en un local que presentaba unas condiciones de absorción importantes, con el fin de evitar que los transducto-

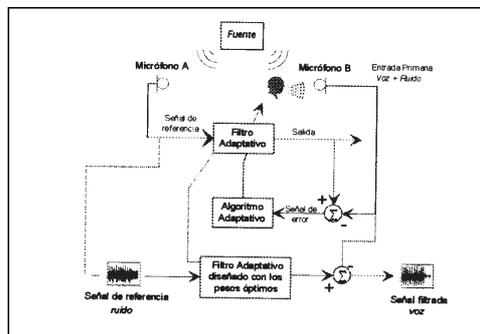
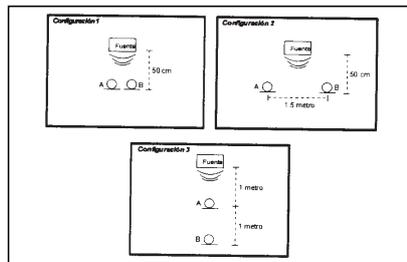


Figura 1. Esquema de bloques del sistema adaptativo.

res utilizados para realizar las medidas recojan posibles reflexiones, ya que esto contribuye a una pérdida de la linealidad del sistema adaptativo y como consecuencia una disminución de su eficiencia.

Toma de medidas

En la figura 2 se observan las distintas configuraciones empleadas para llevar a cabo la toma de medidas.



Configuración 1. Micrófonos equidistantes, situados a 50 cm. de la fuente de ruido y completamente juntos.

Configuración 2. Micrófonos equidistantes, situados a 50 cm. de la fuente de ruido y completamente juntos.

Configuración 3. Micrófonos en línea, situados a 1 metro de la fuente y separados entre sí 1 metro.

Figura 2. Configuraciones para toma de medidas.

Resultados obtenidos

Antes de mostrar los resultados obtenidos mediante simulación, señalar que se ha utilizado el Algoritmo LMS Normalizado (de entre los tres tipos de algoritmos adaptativos ofertados en el programa de simulación), dado que es el más conveniente cuando se desconoce "a priori" cual es la constante de adaptación adecuada para conseguir un funcionamiento óptimo del sistema (ya que éste tiene en cuenta la potencia de la señal de referencia, asegurando de esta forma la convergencia del algoritmo hasta el vector de pesos óptimo).

Los resultados que se adjuntan se corresponden con la disposición de la configuración 3, debido a que es la que mayor alinealidad presenta. Se ha comprobado que para el resto de las configuraciones los resultados obtenidos son bastante buenos.

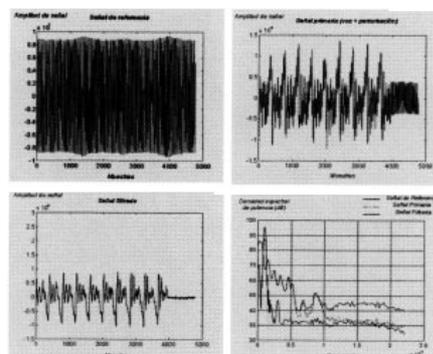
Los distintos tipos de ruido emitidos por la fuente son:



Simulación 1 (Tono de 500 Hz)

Parámetros:

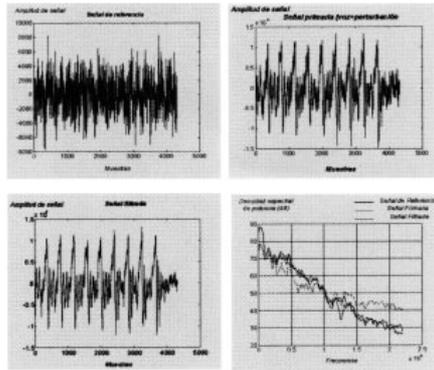
Constante de adaptación	0.02
Longitud del filtro	2



Simulación 2 (Ruido Rosa)

Parámetros:

Constante de adaptación	0.5
Longitud del filtro	8



Descripción del software realizado

Debido a la gran cantidad de simulaciones que se han llevado a cabo, se ha optado por confeccionar un software con el fin de agilizar todo el proceso. El programa permite cargar tanto la señal de referencia como la señal primaria, necesarias para el correcto funcionamiento del sistema adaptativo diseñado. Una vez cargadas estas señales, simplemente hay que seleccionar el tipo de algoritmo adaptativo que se quiere utilizar (en el software se ofertan tres variantes del algoritmo LMS: Algoritmo LMS Estándar, Algoritmo LMS Normalizado y Algoritmo LMS con coeficiente de pérdida) e introducir los parámetros correspondientes (constante de adaptación y longitud del filtro adaptativo que se quiere diseñar). En caso de que se tengan que utilizar señales que presentan un elevado número de muestras, también se ha incluido la posibilidad de realizar un troceado de la señal, para de esta forma, poder soportar la carga computacional que supone. Aunque este software se haya realizado bajo el entorno de Matlab, presenta un aspecto como el de cualquier programa para Windows, de esta forma, se asegura que se encuentre al alcance de cualquier usuario, aunque desconozca por completo como se utiliza Matlab.

Conclusiones

Los resultados incluidos en la comunicación se han obtenido utilizando el Algoritmo LMS Normalizado, debido a que la constante de adaptación (que es el parámetro crítico del algoritmo adaptativo) está normalizada en base a la potencia de la señal de referencia, asegurando de esta forma la convergencia del algoritmo.

Un aspecto muy interesante a tener en cuenta, es el valor de la longitud del filtro adaptativo que se quiere diseñar para llevar a cabo la cancelación. En principio, no se pueden establecer una serie de reglas que dictaminen el número de pesos que se debe utilizar, ya que hay numerosos factores a tener en cuenta. Por tanto lo que se debe hacer, es utilizar la técnica de "prueba y error". No obstante, se pueden establecer una serie de recomendaciones (obtenidas tras la multitud de simulaciones realizadas, aunque, debido a limitaciones de espacio solo ha sido posible incluir algunas de ellas) en base al tipo de señal de referencia utilizada en el sistema adaptativo. En caso de que la señal de referencia sea una onda sinusoidal pura, con dos pesos solamente es posible obtener unos resultados bastante buenos. Si la señal de referencia es una onda senoidal múltiple, normalmente, como punto de partida se debe tomar de 4 a 20 pesos. Para señales de referencia con un ancho de banda considerable se suele utilizar de 4 a 20 pesos por pico de resonancia.

El valor de la constante de adaptación también está en función del tipo de señal de referencia. En caso de una señal periódica, el valor de la constante de adaptación debe ser menor que cuando la señal es de naturaleza aleatoria (esto se demuestra en las representaciones gráficas incluidas).

Ahora, se va a exponer, de que forma ha respondido el sistema para los distintos tipos de señales sometidas a estudio. En primer lugar se sometieron a análisis distintas señales periódicas acotadas en frecuen-

cia (en concreto, se han utilizado tonos de 500, 1000, 2000 y 5000 Hz y un silbido). En este caso, los resultados obtenidos son bastante óptimos. Esto se debe a la linealidad que presenta el sistema, propiedad fundamental para un buen funcionamiento, ya que los algoritmos adaptativos utilizados se han implementado utilizando una estructura de filtro FIR, que es al fin y al cabo un combinador lineal.

También se realizaron pruebas con señales cuadradas (que presentan un mayor ancho de banda) y ruido aleatorio (en concreto, ruido rosa). En este caso, solo se obtuvieron resultados decentes. De todo esto, se deduce que cuando el ancho de banda de la señal interferente aumenta y el sistema pierde la linealidad, disminuye considerablemente la eficiencia del sistema adaptativo diseñado. Para estos casos, hay que tener en cuenta que la fuente estaba localizada, debido a que el recinto donde se realizaron las medidas presentaba una absorción considerable.

Por último, y en aras de complicar la situación, se realizaron medidas reales de otro tipo de señales más complejas, en concreto de señales de naturaleza impulsiva (se midió el ruido aéreo producido por la vibración de una estructura excitada por impulsos).

Para ello, se realizaron dos tipos de montajes, uno, tomando como señal de referencia la recogida por un acelerómetro piezoeléctrico y otro, tomando como señal de referencia la recogida por un micrófono dinámico ambiente. En ambos casos, la señal primaria se obtiene con un micrófono dinámico. Para los dos tipos de montajes, los resultados obtenidos son bastante pobres. Esto se debe a que para este tipo de señales, el sistema está muy lejos de la linealidad, y por tanto el filtro adaptativo FIR se "sale fuera de rango", por decirlo de algún modo, y no se comporta nada bien. En tales casos, deben utilizarse filtros IIR y además hay que tener en cuenta multitud de factores, tales como las funciones de transferencia de los transductores utilizados y la respuesta de la sala donde se efectúen las medidas.

En base a que el sistema adaptativo se comporta correctamente para señales periódicas acotadas en frecuencia, se puede pensar en multitud de aplicaciones reales donde se pueda utilizar, alguna de las cuales se citan a continuación:

- Cancelación adaptativa de ruido producido por maquinaria que presenten un régimen de giro variable, tales como ventiladores o motores (esta aplicación es muy utilizada para el caso de los automóviles y los aviones, donde no es posible recurrir a la acústica pasiva debido a las limitaciones de espacio y a que el ruido que se quiere cancelar es de muy baja frecuencia)
- Cancelación adaptativa de la interferencia de red. Esto puede tener aplicaciones muy interesantes, por ejemplo, cancelar la interferencia de red en electrocardiografía.
- Cancelación de realimentación acústica.

Referencias

- "Theory and Design of Adaptive Filters", Treicher, Jhon R., 1987 Jhon Wiley&Sons
- "Introduction to Adaptive Filters", Simon Haykin, 1984. Macmillan Publishing Company
- "Adaptive Filter Theory", Simon Haykin, 1986 Ed. Prentice Hall
- "Advanced Topics in Signal Processing". J.S. Lim, A.V. Oppenheim, 1988 Ed. Prentice Hall (Cap. 5)
- "Discrete-Time Signal Processing", Alan V. Oppenheim.
- Documentación de MATLAB (Versión 4.2 para Windows)
- "A New Efficient LMS Adaptive Filtering Algorithm", Forasen U. IEEE Transactions on circuits and systems II: Analog and Digital processing, 1986, vol. 43,nº6,p.372-378
- "Analysis of Adaptive FIR Filters in Cascade Form.", Forasen U. IEEE Transactions on circuits and systems II: Analog and Digital processing, 1984, vol. 41,nº6,p.392-401
- "Mean-Square Analysis of the Multiple Error and Block LMS Adaptive Algorithms", S.C. Douglas, Department of Electrical Engineering University of Utah (Salt Lake City, TU 84112 USA.