

## CANCELACION ADAPTATIVA DE RUIDO ACUSTICO EN CABINA DE AUTOMOVIL

E. Masgrau-Gómez

Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática  
Centro Politécnico Superior de Ingenieros  
Universidad de Zaragoza

### INTRODUCCION

Los dispositivos clásicos pasivos utilizados como aisladores o silenciadores acústicos trabajan como filtros paso bajo, y por consiguiente, no proporcionan la adecuada reducción del ruido de baja frecuencia. Una posible solución reside en el uso de métodos de cancelación de señal acústica haciendo uso de técnicas de tratamiento de señal. Este área ha experimentado un creciente interés y atención en los últimos años tanto en aplicaciones industriales como de comunicaciones en ambientes ruidosos. El caso concreto aquí tratado es el de cancelación del ruido de motor en el interior de la cabina de automóviles, pero sus resultados son directamente extendibles a cualquier otro tipo de escenario o aplicación. En la Figura 1 se muestra el esquema general del problema de cancelación en automóviles, indicándose los puntos de toma de la referencia de ruido y de los de cancelación de éste que son utilizados en la cancelación, situados en el vano motor el primero y en la cabina del automóvil los segundos. Los convertidores A/D y D/A realizan las conversiones adecuadas, de modo que el tratamiento de señal se realiza digitalmente. El filtro paso bajo limita el ancho de banda de la señal de referencia al ancho de banda de la señal de ruido en la cabina. El sistema funciona por inyección en la cabina de un ruido idéntico, pero en contrafase, al ruido existente que se desea cancelar.

En el gráfico mostrado, el número de puntos de cancelación es de *dos* y el número de actuadores es de *tres*, por razones que más adelante se indican. Cada actuador consiste en un filtro digital adaptativo y en un amplificador y altavoz. Estos filtros adaptativos son alimentados por la señal de referencia del ruido, y sus coeficientes son continuamente actualizados en base al ruido residual existente en los puntos de cancelación, con el objetivo de reducir el nivel de este ruido al mínimo posible. En el caso más simple de un sólo actuador y un sólo punto de cancelación, la función de transferencia  $W(z)$  del filtro actuador pretende identificar la función de transferencia  $P(z)$ , correspondiente al camino de propagación acústica del ruido motor desde éste a la cabina, dividido por la función de transferencia de radiación del ruido inyectado  $R(z)$ , y

que engloba la función de radiación del altavoz y la de propagación acústica en la cabina. Es decir, se persigue la identificación  $W(z) = P(z)/R(z)$ .

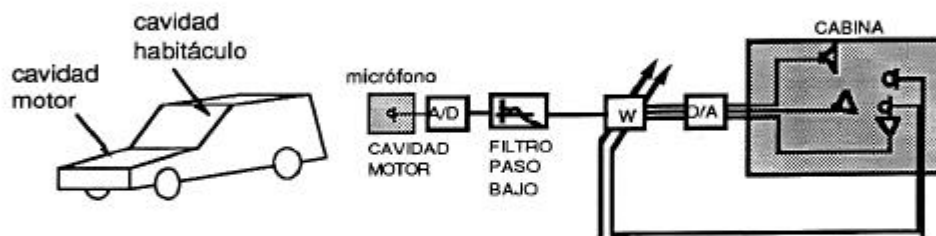


Figura1. Esquema del cancelador adaptativo de ruido de motor en la cabina de automóvil.

#### SISTEMA CANCELADOR

Existen diversos problemas en la puesta en práctica de este esquema de cancelación. En primer lugar, la función de transferencia  $P(z)$  de la propagación acústica del ruido del motor entre éste y la cabina, presenta una alta complejidad: presenta características de multicamino, no linealidades y de fuentes secundarias; por consiguiente, su respuesta impulsional presentará una larga duración y una gran cantidad de modos. Ello aconseja el uso de filtros IIR, con ceros y polos, que permitirán una identificación de esta función de transferencia con un orden menor que si se hiciera uso de los más clásicos y más sencillos filtros FIR o de sólo ceros. En segundo lugar, la función de radiación  $R(z)$  puede tener características de fase no-mínima, lo que impediría su inversión o deconvolución, con la correspondiente pérdida de eficacia de la cancelación. Una posible solución consiste en el uso de un actuador adicional, es decir, de un grado de libertad suplementario [1]. En este caso, y por ejemplo para el caso de un sólo punto de cancelación de ruido, la ecuación que deben cumplir las funciones de transferencia de los dos actuadores utilizados es:

$$R_1(z) W_1(z) + R_2(z) W_2(z) = P(z)$$

donde  $R_1(z)$  y  $R_2(z)$ , que son las funciones de radiación correspondientes a los dos actuadores  $W_1(z)$  y  $W_2(z)$ , deben ser mutuamente primas entre sí en el círculo unidad y en su exterior; es decir, no deben de contener ceros comunes en las regiones indicadas del plano  $z$ , ya que en caso contrario se reproduciría el problema que se intenta resolver.

Esta solución introduce un problema de inestabilidad latente y de convergencia de los filtros actuadores a sus valores óptimos debido al uso de filtros IIR: posible inestabilidad de los propios filtros IIR y lentitud en su convergencia, típicos ambos del uso de estos filtros. Por otro lado, el uso de un grado de libertad adicional puede producir problemas de singularidad o de soluciones múltiples, si el dimensionado de los filtros actuadores no se realiza con cuidado. Estos problemas son neutralizados con el uso de filtros IIR en celosía, de órdenes relativamente bajos, y con algoritmos de

adaptación autoestabilizados y de velocidad de convergencia alta, desarrollados por el autor [2], [3].

#### RESULTADOS

Las soluciones propuestas fueron evaluadas en un entorno real, consistente en el uso de nuestro sistema de cancelación trabajando en el interior de un automóvil operando sobre un sistema de rodillos en una cámara anecoica. En la Tabla I se muestran unos resultados comparativos preliminares obtenidos con el uso de nuestro sistema y de soluciones clásicas que hacen uso de un sólo actuador con algoritmo de adaptación LMS. Todas las señales son reales, aunque las funciones de radiación  $R(z)$  se han simulado para testear el caso más desfavorable en que éstas presentan características de fase máxima (todos sus ceros en el exterior del círculo unidad). Los resultados presentados corresponden al caso de una velocidad de revolución del motor de 3000 r.p.m. (ruido de segundo orden de 100 Hz). Para una correcta homogeneización de los resultados se han elegido los parámetros de convergencia de los distintos algoritmos adaptativos utilizados de tal modo que los tiempos de convergencia sean iguales, y poder establecer la comparación entre ellos en términos de la cancelación conseguida tras la convergencia. Este ha sido el caso de todos los test presentados excepto el correspondiente a un retardo puro de 5 muestras, en el que se ha elegido un tiempo de convergencia de 100 muestras debido a que valores más bajos conducían a unas muy malas prestaciones en régimen permanente.

	$T_C$	$R_B$	$R_{SO}$	$T_C$	$R_B$	$R_{SO}$	$T_C$	$R_B$	$R_{SO}$	$T_C$	$R_B$	$R_{SO}$
FIR LMS	50	6	20	100	3	14	50	3,5	16	50	4,5	16
IIR celosía	50	7	18	100	3	12	50	5	18	50	6,5	18
	$R(z)=1$			$R(z)=z^{-5}$			$R(z)=1+4z^{-5}$			$R_1(z)=z^{-5}$ $R_2(z)=1+4z^{-5}$		

Tabla I. Resultados obtenidos usando filtros FIR y filtros IIR con y sin filtro adicional

donde

$T_C$ : Tiempo de convergencia (en número de muestras);

$R_B$ : Cancelación de ruido en dB's en la banda de interés de 0 a 230 Hz;

$R_{SO}$ : Cancelación del ruido de segundo orden.

En la figura 2, a modo de ilustración, se muestra el nivel de cancelación obtenido para la banda de interés de 0 a 250 Hz. La línea continua y discontinua indican los niveles de ruido antes y después de la cancelación, respectivamente. Destaca la alta cancelación obtenida del ruido de segundo orden.

De los resultados presentados se deriva una apreciable mejora tanto con el uso de filtros adaptativos IIR en vez de filtros FIR, como con el uso de un grado de libertad adicional. La conjunción de ambas técnicas (IIR+Filtro adicional) proporciona una

mejora sobre el caso de un sólo filtro FIR de unos 3 dB en la cancelación en toda la banda ( $R_B$ ) y de unos 2 dB en la cancelación de segundo orden ( $R_{SO}$ ).

En la presentación del trabajo se aportarán resultados adicionales, obtenidos haciendo uso de otras variantes de los algoritmos adaptativos aquí evaluados, tales como el RLS, y en otros escenarios.

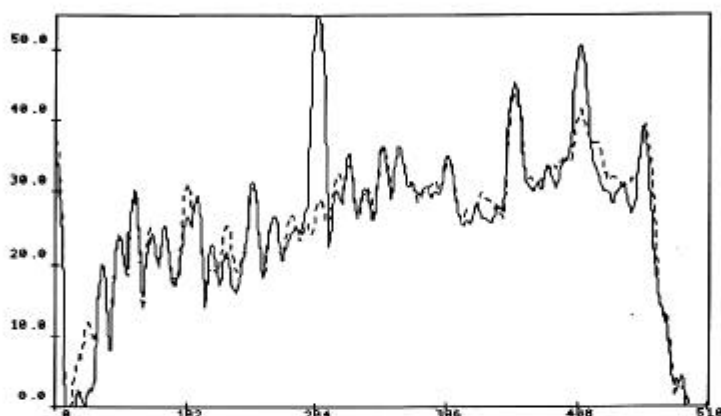


Figura 2. Densidad espectral de ruido antes (continua) y después (discontinua) de la cancelación, para el caso de 3000 r.p.m..

#### CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un sistema cancelador adaptativo de ruido acústico que hace uso de filtros IIR autoestabilizados de convergencia rápida y de un grado de libertad adicional. Ello permite mejorar ostensiblemente las prestaciones obtenidas con la solución más clásica, que hace uso de filtros FIR en número igual al de puntos de cancelación deseados, sobre todo en escenarios donde las funciones de radiación sean de fase no-mínima.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Miyoshi, Y. Kaneda.  
"Inverse Filtering of Room Acoustics". IEEE Trans, on ASSP, Vol. 36, pp. 145-152, February 1988.
- [2] J.A. Rodríguez-Fonollosa, E. Masgrau-Gómez.  
"Improved Convergence of Gradient Algorithms for Adaptive IIR Filters". Proc. IEEE-ISCAS'89, pp. 1732-1735. Portland (USA). May 1989.
- [3] J.A. Rodríguez-Fonollosa, E. Masgrau-Gómez.  
"Spectral Sensitivity and Convergence Rate in Adaptive IIR Filtering". Proc. IEEE-ISCAS'90, pp. 1959-1962. New Orleans (USA) May 1990.