

Control activo de ruido en un sistema de escape de automóviles

M. de Diego, A. González y E. Cervantes.

Departamento de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia.

Camino de Vera s/n, 46071 Valencia.

Abstract

This paper reports on the performance of an active noise cancellation system in a short narrow duct around a PC hosted TMS32C40 processor with a Fulcrum board connected to the real world via standard consumer audio components. The system will perform active noise cancellation to control exhaust repetitive noise using a control algorithm based on the filtered-X LMS algorithm. Quantitative results are presented for the cancellation of narrowband noise and a measure of the noise power spectrum is calculated for a variant of the filtered-X LMS algorithm that achieves coefficients saving.

Introducción

El control activo de ruido (CAR) consiste en la reducción del ruido indeseado a partir de la generación de ruido en contrafase con el inicial. Esta técnica, de creciente interés en los últimos años, combina el procesamiento digital de señal en tiempo real con la acústica tradicional [1][2].

El prototipo implementado puede observarse en la figura 1. La filosofía de cancelación utilizada es de tipo feedforward [3], ya que se supone un conocimiento de la señal a cancelar a partir de un sensor de alguna de las propiedades físicas del sistema mecánico que origina el ruido. En este caso se emplea un sensor no acústico que mide la velocidad de giro del motor. El sistema de CAR feedforward es de banda estrecha con múltiples referencias (dada la naturaleza espectral de la señal de referencia).

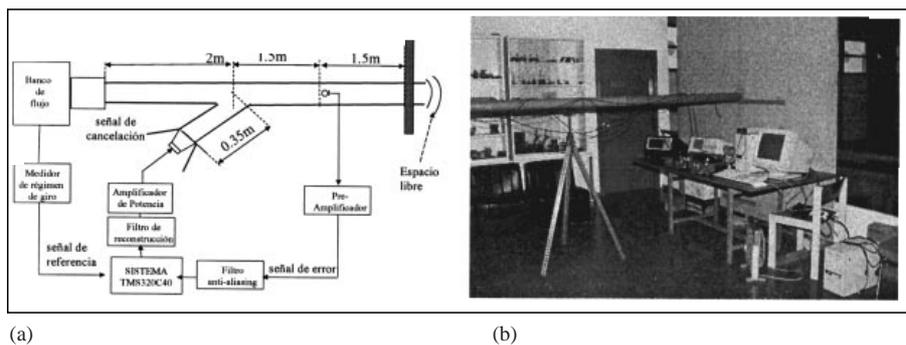


Figura 1. Prototipo de cancelación activa de ruido en conductos: (a) esquema; y (b) fotografía

El algoritmo utilizado es una modificación del algoritmo filtered-X LMS[4]. Esta modificación consiste en introducir un retardo entre las muestras de la señal de referencia, antes de ser procesadas. Este retardo supone un diezmado de la señal de referencia que permite obtener una mayor resolución espectral con

menor número de coeficientes [5].

Descripción del prototipo

Fuente de Ruido

La fuente de ruido es un banco de pruebas basado en el paso de aire a través de una válvula que se abre y se cierra con una determinada periodicidad para simular el comportamiento del sistema de escape de un motor.

Parte Acústica

En este prototipo tenemos dos conductos: uno principal por el que se propaga el ruido que queremos cancelar; y otro secundario por el que viaja la señal generada por el sistema C.A.R. para cancelar el ruido no deseado.

Ambos tubos son cilíndricos. Como se observa en la figura 1, el conducto principal tiene 5m de largo; en uno de los extremos tenemos la fuente de ruido (el banco de flujo anteriormente descrito). El conducto secundario tiene una longitud de 0.35m, y en uno de sus extremos tiene una transición de 0.77m donde se sitúa la fuente secundaria: altavoz con su correspondiente caja de resonancia para evitar la propagación de la señal acústica canceladora. Ambos conductos se unen en un punto situado a 2m del principio del tubo principal, con un ángulo de 45°. Ese será el punto donde se producirá la suma acústica de las dos señales: ruido no deseado y el anti-ruido generado por el sistema C.A.R, y por lo tanto el punto donde se produce la cancelación acústica.

Parte Eléctrica

Los elementos eléctricos son:

- Preamplificador
- Amplificador de potencia: SU-V500 de Technics.
- Sistema de procesado digital de señal: Placa Fulcrum de Data Translation.
- Filtros digitales anti-aliasing y de reconstrucción, realizados con el DSP ADSP-2181 de Analog Devices.
- Medidor de régimen de giro: Captador magnético y tacómetro digital.
- Amplificadores de señal situados entre los filtros anti-aliasing y de reconstrucción y el sistema de procesado digital de señal para adaptar márgenes dinámicos de señal de salida y entrada respectivamente.

Medidor de Régimen de Giro

El régimen de giro del motor es un parámetro a fijar en cada uno de los ensayos y lo utilizaremos como señal de referencia en el sistema C.A.R. como veremos más adelante. El motor eléctrico que acciona el árbol de levas proporciona un régimen uniforme.

El sistema de medición de las r.p.m. consiste en un generador de impulsos y un tacómetro digital. El generador de impulsos está formado por una rueda dentada y un captador magnético, que genera una onda cuya amplitud depende del tamaño de la discontinuidad del volante, de la proximidad del volante al captador y de la velocidad de giro del motor. El generador de impulsos está conectado a un tacómetro digital que cuenta los impulsos que recibe durante un determinado tiempo y los visualiza en una pantalla digital de 4 dígitos, permitiendo controlar el régimen de giro.

Interfaces de la parte eléctrica y acústica

Los interfaces son el altavoz para el interface eléctrico-acústico (modelo 8 B-40 de Beyma) y el micrófono capacitivo para el interface acústico eléctrico.

Descripción de las señales del sistema

Señal de Referencia

Como ya se comentó anteriormente, la señal de referencia es generada por el captador magnético del medidor de régimen de giro. Esta señal es un pulso cuadrado de 5V de amplitud por cada vuelta del motor. Esta señal ha de ser muestreada por la placa Fulcrum para su procesado en el sistema adaptativo. Al ser un pulso de duración limitada, su ancho de banda va a ser teóricamente infinito; por lo tanto se hace necesario realizar un filtrado anti-aliasing previo a su captación por el A/D del sistema de procesado de señal. La señal que obtenemos a la salida del filtro se observa en la figura 3 tanto en el dominio del tiempo como en el de

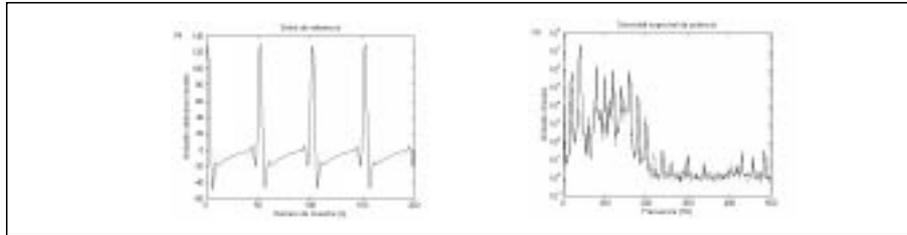


Figura 3. Señal de referencia recogida por la placa Fulcrum para un régimen de giro de 1200 r.p.m. en el tiempo (a) y en la frecuencia (b).

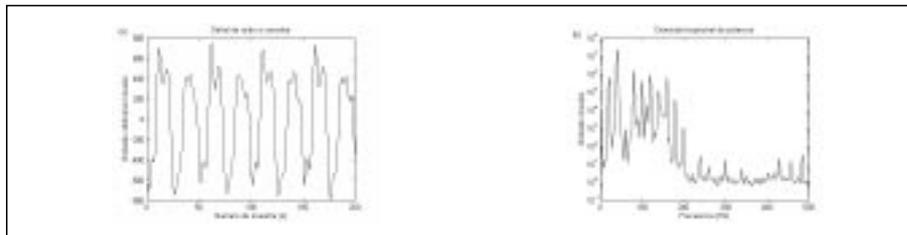


Figura 4. Señal de ruido a cancelar recogida por el conversor A/D de la placa Fulcrum para un régimen de 1200 r.p.m. sin flujo de aire en el dominio del tiempo (a) y en el dominio de la frecuencia (b).

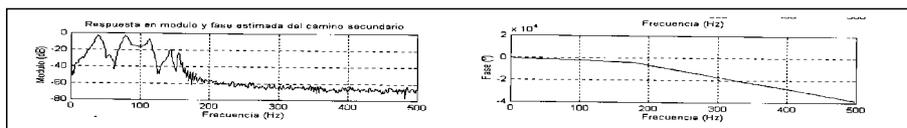


Figura 5. Función de transferencia estimada del camino secundario.

la frecuencia. La frecuencia de muestreo de la señal es de 1KHz.

Se trata de deltas espaciadas 20Hz desde 0Hz a 200Hz, que es la banda de frecuencias que queremos cancelar. Al igual que antes, el límite a 200Hz es debido al filtro anti-aliasing que estamos utilizando; si quisiéramos aumentar la banda de frecuencias a cancelar deberíamos aumentar la frecuencia de corte de los filtros y probablemente la frecuencia de muestreo para evitar aliasing

Señal de Ruido a Cancelar

La señal de error es captada por un micrófono capacitivo situado en la pared del tubo principal a 3.5m del principio de dicho tubo.

Esta señal de error ha de ser filtrada por un filtro digital de 150Hz para evitar el solape espectral al ser muestreada por la presencia de señal a frecuencias mayores de 500Hz. En la figura 4 vemos la señal captada por el micrófono para un régimen de giro de 1200r.p.m. sin flujo de aire en el interior del tubo.

Resultados experimentales

En primer lugar debe llevarse a cabo la estimación del camino de error [4] del sistema CAR ya que hemos de utilizarla para implementar el algoritmo filtered-X LMS. En la figura 5 tenemos la respuesta en frecuencia estimada del camino secundario del sistema.

Vemos que hay una serie de frecuencias en las que el camino secundario presenta gran atenuación y que corresponden con los armónicos donde la señal a cancelar presentaba menor potencia, podemos pensar entonces que a esas frecuencias la onda estacionaria presenta mínimos en la posición del micrófono de error.

Los resultados se obtuvieron con un régimen de giro del motor de 1200r.p.m. en dos casos, uno sin flujo de aire y otro con flujo de aire. La señal de referencia en los dos casos es la misma que la mostrada en la figura 3. La diferencia entre los dos casos está en la señal de ruido a cancelar como podemos ver compa-

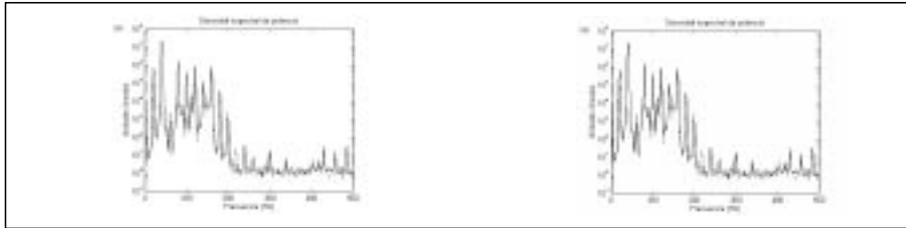


Figura 6. Densidad espectral de potencia de la señal recogida por el micrófono de error antes y después de cancelar una señal de error sin flujo de aire frío (a); y con flujo de aire frío (b) utilizando el aFXLMS con 25 coeficientes. La velocidad de giro del motor es de 1200 r.p.m.

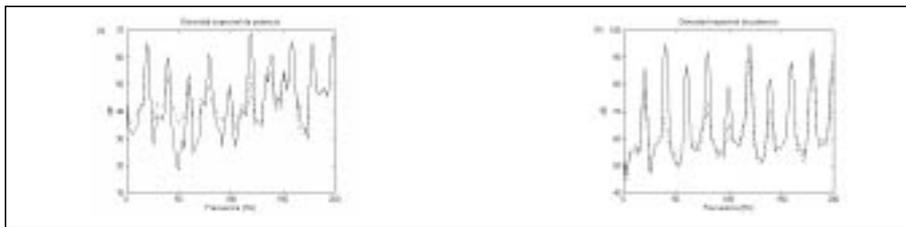


Figura 7. Densidad espectral de potencia de la señal de ruido antes (línea continua) y después (línea discontinua) de cancelar medida en el espacio libre (a) sin flujo de aire por el interior del conducto; (b) y con flujo de aire en el interior del conducto.

rando las figuras 6(a) y 6(b).

Los resultados que se obtuvieron para la variante del algoritmo filtered-X LMS son los mostrados en la figura 6.

En ambos casos la cancelación está dentro de lo que esperábamos, ya que las frecuencias donde la señal de ruido a cancelar no tenía mucha potencia no ha podido cancelarse, pero sí se han cancelado algunas frecuencias siempre por debajo de los límites máximos teóricos que se obtuvieron con el cálculo de la coherencia entre la señal de referencia y la señal de ruido a cancelar[6].

Para medir la reducción en el nivel de ruido a la salida del conducto se colocaron unos micrófonos de medida conectados a un analizador de espectro B&K-7651 en la dirección axial del tubo. Este sistema realiza mediciones de ondas acústicas temporales y cálculos espectrales de dichas ondas. Las medidas representadas en la figura 7 fueron tomadas a 1200 r.p.m.. Se calcularon los espectros realizando una ponderación sofométrica de ley A. Los resultados de cancelación son similares a los obtenidos en las mediciones mediante el sensor de error. En los dos casos (con flujo de aire frío y sin flujo) la frecuencia de 60Hz casi no se atenúa, en cambio hay frecuencias en donde la atenuación puede ser de hasta 20dB. Y a partir de 150Hz ya no conseguimos reducir el nivel de ruido ya que nuestro sistema C.A.R. no tiene respuesta a partir de esa frecuencia.

Conclusiones

Este trabajo implementa un sistema de cancelación de ruido para un sistema de escape de automóviles empleando el sistema de procesado de señal Fulcrum de Data Translation que incluye el microprocesador TM320C40. El sistema proporciona considerables reducciones de los niveles de ruido repetitivo generado por el sistema de escape. Así mismo resulta satisfactorio el funcionamiento del sistema empleando una modificación del algoritmo adaptativo filtered-X LMS[5].

Bibliografía

- 1] P.A. Nelson y S.J. Elliott, Active Control of Sound. Academic Press, 1992.
- 2] P. Cobo, Control Activo de Ruido: Principios y Aplicaciones. Instituto de Acústica CSIC, 1996.
- 3] A. González, M. de Diego, E. Cervantes, A. Albiol, Cancelación Activa de Señales de Frecuencia Variable. pp. 187-190, Teñiacústica 96.
- 4] B. Widrow y S.D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall 1985
- 5] A. González, Control Activo de Ruido Acústico usando Procesado Adaptativo de Señal. Tesis Doctoral, Departamento de Comunicaciones de la UPV.