

웨이브렛 패킷 필터 뱅크를 이용한 자동차 내부에서의 적응 능동 소음제어

장재동, 김영중, 임묘택
고려대학교 메카트로닉스 협동과정, 고려대학교 전기공학부

Adaptive Active Noise Control in a car Using Wavelet Packet Filter Bank

Jae-Dong Jang, Young-Joong Kim and Myo-Taeg Lim
School of Mechatronics Engineering and Electrical Engineering, Korea University

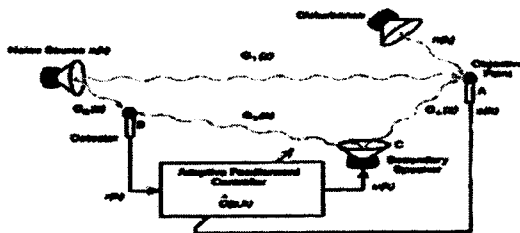
Abstract - 이 논문에서는 밀폐된 공간 내에서 발생하는 소음을 줄이기 위해 일종의 능동 소음 제어 방법을 발표한다. 제안된 제어방법은 WPFB(Wavelet Packet Filter Bank)를 이용하여 기존의 FXLMS(Filtered-X Least Mean Square) 알고리즘의 단점인, 소음 제어시스템 내에서의 소음전달의 지연으로 인한 불안정성과, 소음의 급작스런 변화에 대한 응답능력부족을 해소하는 방법이다. 이 시스템의 주요 특성은 소음제어 시스템의 이차경로에 WPFB가 삽입되어 FXLMS 알고리즘에 비해 빠른 연산이 수행된다는 것이다. 다른 말로 하면, WPFB는 병렬연산을 수행한다. 그러면, 적응 알고리즘 내에 있는 필터의 웨이트들이 더 빨리 갱신될 것이다. 또한 WPFB는 뛰어난 분해능을 가지고 있어서 아주 미세한 소음까지도 처리해 낼 수가 있다. 이 제어기법의 효율성은 simulation을 통해 증명될 것이다.

1. 서 론

전기적, 기계적 시스템에 있어서 원하지 않는 진동이나 소음은 작업자의 능률이나 작업환경에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다[1]. 이러한 소음이나 진동을 방지하는 소음 및 진동제어에 대한 연구는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 먼저 소음원으로부터 소음을 적게 방출시키는 방법, 두 번째로 흡음, 차음 등의 부가적인 방법으로 소음을 줄이는 수동적인 방법, 마지막으로 소음을 줄이기 위해서 부가적인 소음원을 사용하는 능동소음제어 방법이 있다. 이 중에서 수동적인 방법은 구조물의 재질, 형상 등에 대한 정확한 파악이 필요하고 고주파 소음에 대하여는 좋은 성능을 보이나 대부분의 전기적, 기계적 소음인 500[Hz]보다 작은 저주파 소음에 대해서는 구조물의 크기가 커야 하므로 많은 제약이 따른다[2]. 따라서 이런 수동소음제어의 단점을 극복하기 위해서 저주파 소음에 대해서 탁월한 효과를 보이는 능동소음제어 연구가 많이 연구되고 있다. 1936년 lueg에 의해서 처음 창안된 능동소음제어는 신호처리기술과 하드웨어의 발달과 더불어 연구가 활발히 이뤄지고 있으며 초기 능동소음제어는 시스템을 수학적으로 모델링한 후 이에 대한 매개변수들을 실험을 통해 비 실시간으로 얻고 이 결과를 이용해서 소음제어를 하였다. 그러나 시변 시스템인 경우 이와 같은 방법은 실제 적용에 어려움이 있기 때문에 신호처리기술을 이용하여 소음과 동일 진폭, 반대위상을 갖는 부가적인 소음원을 이용한 실시간 소음제어방법이 각광받게 되었다. 이러한 능동소음제어 시스템은 DSP적으로 경량화가 가능하므로 최근 항공기의 소음제어나 에어컨, 헤드셋과 같은 전자장치의 소음제어에 많이 적용되고 있다[3]. 현재 가장 많이 사용되고 있는 능동소음제어 방법으로 Filterd-X LMS알고리즘이 있다. 그런데 이 방식은 두 가지 단점을 가지고 있다. 첫째는 소음제어 시스템 내에서의 소음전달의 지연으로 인한 불안정성이고, 둘째는 소음의 급작스런 변화에 대한 응답능력부족이다. 이 연구의 목적은 위와같은 Filterd-X LMS 알고리즘의 단점을 보완하기 위하여 WPFB를 적용시켜 좀더 안정하고 소음분해능이 뛰어난 방법을 제안하며, 기존에 발표된 방법과 시뮬레이션을 통해 비교하고 그 성능을 확인해 보는 데 있다.

2. 본 론

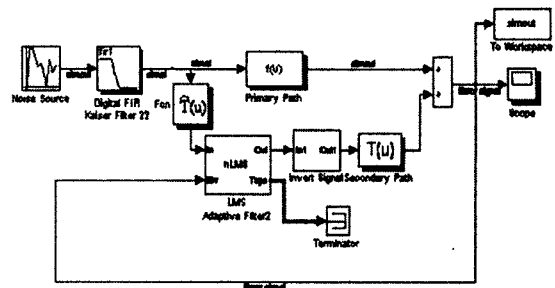
2.1 Active Noise Control



<그림 1> Feedforward adaptive ANC system

일반적인 feedforward ANC 시스템은 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며 소음은 기준 마이크와 오차마이크를 통해 얻어진 잠음 정보를 분석하여 스피커를 통해 동일 진폭과 반대위상을 갖는 신호를 이용하여 소음을 제거한다.

2.2 FXLMS Algorithm



<그림 2> FXLMS for ANC

실제 능동소음제어에서의 오차신호는 필터응답신호 $u(k)$ 와 목표응답신호 $d(k)$ 의 차이가 아니라 부가잡음과 오차마이크사이의 이차경로가 고려되어야 하므로 이를 보상하기 위해 FXLMS 알고리즘이 제안된다. 즉 참조신호 $r(k)$ 를 적응알고리즘의 입력신호로 쓰지 않고 그림에서처럼 이차경로를 추정하여 모델링한 \hat{T} 를 거친 신호를 참조신호로 사용한다. 따라서 시스템의 성능을 향상시키기 위해서 \hat{T} 를 정확히 추정하는 것이 필요하다[4]. LMS 알고리즘은 상관행렬 R 을 모르는 경우에 기울기만을 이용하여 최적필터 계수를 알아내는 알고리즘으로 다음과 같이 웨이트를 업데이트 한다.

$$w(k+1) = w(k) - 2\mu e(k)x(k) \quad \dots(1)$$

FXLMS에서는 목표신호와 출력신호 간의 오차신호 $e(k)$ 는 다음과 같다.

$$e(k) = d(k) + w^T x(k) T(z) \quad \dots(2)$$

이 때, cost-function은 $\zeta = E[e^2(k)]$ 이고 필터계수에 관한 도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \nabla &= \frac{\partial \zeta}{\partial w} e^2(k) = 2e(k) \frac{\partial \zeta}{\partial w} (d(k) + w^T x(k) T(z)) \\ &= 2e(k)x(k) T(z) \end{aligned} \quad \dots(3)$$

이 고 $\hat{x} = x(k) T(z)$ 를 (1)에 대입하면 다음과 같은 FXLMS 알고리즘을 구할 수 있다.

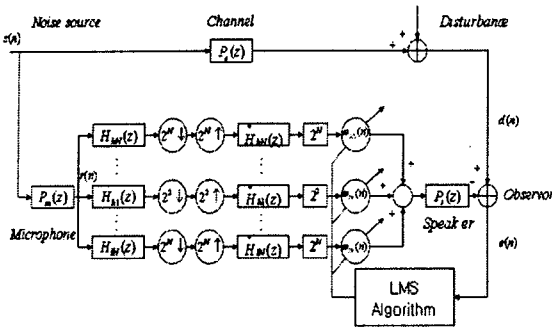
$$w(k+1) = w(k) - 2\mu e(k)\hat{x}(k) \quad \dots(4)$$

2.3 Proposed Adaptive Filter Algorithm

기존의 FXLMS알고리즘의 단점은 다음과 같다.
(1) 소음의 전달 지연으로 인한 심각한 불안정성
(2) 소음의 전달 과정에서 소음의 빠른 변화에 대한 응답능력부족

본 논문에서는 FXLMS알고리즘의 위와같은 단점을 극복하기 위해서 소음 제어 시스템의 2차경로에 WPFB(Wavelet Packet Filter Bank)를 삽입한 알

고리증을 사용한다. 제안된 알고리즘의 Block Diagram은 다음과 같다.



<그림 3> WPFB Algorithm

$R_{hi}(z)$ 와 $R_{li}(z)$ 를 WPFB 각 경로의 필터 전달함수라고 하면,

$$u(n) = \sum_{i=1}^N (w_{hi}(n)R_{hi}(z) + w_{li}(n)R_{li}(z))r(n) = w^T(n)r_R(n) \quad \dots(5)$$

여기서, $r_R(n) = [R_{h1}(z)r(n), \dots, R_{hN}(z)r(n)]^T$

w^* 를 $e(n)=0$ 을 만족시키는 실제 weights라고 하면,

$$e(n) = P_s(z)s(n) - P_s(z)u(n) = P_s(z)w^{*T}r_R(n) - P_s(z)w^T(n)r_R(n) = P_s(z)w^{\wedge T}(n)r_R(n) \quad \dots(6)$$

여기서, $\hat{w}(n) = w^* - w(n)$

보조 error $e_a(n)$ 을 다음과 같이 정의하면,

$$e_a(n) = (w^T(n)P_s(z) - P_s(z)w^{\wedge T}(n))r_R(n) \quad \dots(7)$$

증가된 error $\hat{e}(n)$ 은 다음과 같다.

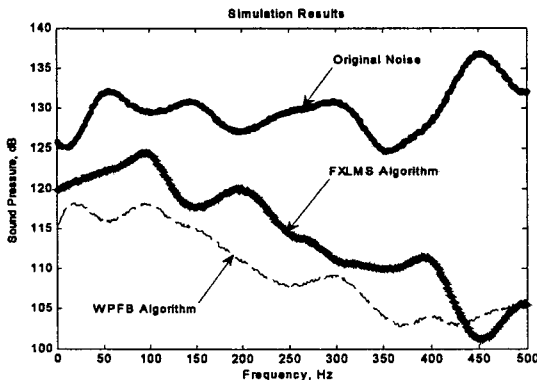
$$\hat{e}(n) = e(n) - e_a(n) = \hat{w}^T(n)x(n) \quad \dots(8)$$

여기서, $x(n) = P_s(z)r_R(n)$

$\hat{e}(n)$ 은 $e(n)$ 의 squares error를 최소화하기 위해 $w(n)$ 을 update할 때 사용된다.

2.4 모의실험

모의실험은 Matlab으로 실행되었으며, resolution N=3이 사용되었고, $H_0(z)$ 와 $H_1(z)$ 의 계수들은 Daubechies Wavelet[6]으로부터 얻어진 것이다. 또 n은 1000부터 2000까지 변동하도록 설정하였다. 모의실험 결과는 아래와 같다.



<그림 5> 모의실험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 WPFB를 이용한 적응 능동 소음제어 알고리즘이 제안되었다. WPFB를 이용한 알고리즘은 기존의 FXLMS 알고리즘에 비해 소음 신호의 빠른 변화에 대한 응답성이 좋고, 병렬 연산을 하기 때문에 소음 전달 지연으로 인한 불안정성이 해소되어서 모의 실험 결과를 통해서 알 수 있듯이 FXLMS 알고리즘에 비해 원래 소음에 대한 감쇄가 훨씬 더 향상된 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] B Widrow et al, "Adaptive noise cancelling", Proc.IEEE, Vol.63.1692-1716, Dec. 1975
- [2] P.M. Joplin and P.A Nelson, "Active control of Low-frequency Random Sound in Enclosures.", J. Acoust. Soc. Am., Vol 87, No 6. June. 1990
- [3] B. Widrow and S. D. streams, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall Inc, 1985
- [4] Sen M. Kuo, "Active Noise Control Systems Algorithms and DSP Implementations", John Wiley & Sons, Inc, 1996
- [5] Elliott, S. J., and Nelson, P.A., "Active Noise Control", IEEE Signal Processing Magazine, vol 10, 1993, p12-35
- [6] I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelet", Commun. Pure Appl. Math., vol. XLI, pp.909-996, 1988
- [7] R. Coifman, Y. .Meye and V.Wickerhauser, "Wavelet analysis and signal processing", in Wavelets and Their Applications, pp.153-178, Jones and Bartlett, Boston, 1992
- [8] N. Erđol and F. Basbug, "Performance of Wavelet Transform based adaptive filtering", IEEE Proc. ICASSP'93, vol. III. pp.500-503, Apr. 1993
- [9] S. Hosur and A. H. Tewfik, "Wavelet Transform domain LMS algorithm", IEEE Proc. ICASSP'93, vol. III.pp.508-510, Apr. 1993
- [10] Fan Jiang, Hiroyuky Tsuji, Hiromitsu Ohmory and Akira Sano, "Adaptation for Active Noise Control", IEEE Control Systems, pp.36-47, Dec. 1997