

Co-FXLMS 알고리즘을 이용한 차실내 능동소음제어 시뮬레이션

Simulation of Active Noise Control for Vehicle Interior Noise Using Co-FXLMS Algorithm

권오철* · 양인형* · 이정윤** · 오재웅† ·

O-cheol Kwon, In-hyung Yang, Jung-youn Lee and Jae-eung Oh

1. 서 론

설치장소제약, 구조변경필요 등의 수동적 방법에 대한 단점을 해결하기 위하여, 신호처리기법을 이용하여 전파되는 소음을 분석하여 역 위상의 부가적인 음을 발생시켜 이들의 파괴간섭을 이용한 능동적으로 소음을 제어하는 능동소음제어에 대한 연구가 부각되었다. 90년대 들어 능동소음제어 시스템은 적응제어 및 디지털 필터의 응용과 이들의 구현을 가능하게 해주는 Digital Signal Processor (DSP)의 출현으로 많은 분야에서 실용화의 가능성을 보여주고 있다. 능동 소음제어를 위한 알고리즘으로는 Least-Mean-Square (LMS) 방식의 알고리즘을 주로 사용한다. 이 알고리즘은 복잡한 전달 함수를 실시간으로 구할 수 있기 때문에 소음의 특성 변화와 시스템의 환경 변화 등에 대해서도 성능을 유지해야 하는 능동소음제어 시스템에 사용되어 왔으며, LMS 알고리즘의 성능을 보완하는 여러 알고리즘이 개발되었다. 그 중에서 Filtered-x LMS (FXLMS) 알고리즘이 많이 사용되어 왔으며, 진동소음 제어등과 같은 분야에 많이 적용되고 있다. 하지만 급속도로 소음의 크기와 주파수가 변하는 경우 FXLMS 알고리즘의 제어성능은 크게 저하된다. 그러므로 본 연구에서는 제어성능을 향상시키고, 안정성을 보장할 수 있는 새로운 적응 제어기법인 Correlation FXLMS (Co-FXLMS) 알고리즘을 자동차실내소음에 대해서 시뮬레이션 하였다. Co-FXLMS 알고리즘은 오차신호와 필터링된 참조신호의 상호상관을 기반으로 수렴계수를 설정함으로써 기존의 FXLMS 알고리즘에 비해 수렴속도가 빠르고 안정성이 증대된 알고리즘이다.

2. 이 론

2.1 Correlation FXLMS 알고리즘

FXLMS 알고리즘의 적응과정에서 수렴시간과 안정성은 μ 와 $\mathbf{x}'(n)$ 에 의존한다. 또한 FXLMS 알고리즘에서는 고정된 수렴계수를 사용하므로 참조신호의 파워가 작은 경우에는 필터차수 L 을 크게 선정해야 하며 참조신호의 파워가 큰 경우에는 필터차수 L 을 작게 선정해야 한다. 그러나 참조신호의 파워가 시간에 따라 변하는 경우 고정된 수렴계수로는 정상적인 제어 성능을 나타내지 못한다. 따라서 이러한 점을 보완하기 위해 부가경로가 보상된 참조신호 $\mathbf{x}'(n)$ 의 파워에 대해 수렴계수를 정규화하였다.

$$\mu(n) = \frac{\alpha}{L\hat{P}_x'} \quad (0 < \alpha < 2) \quad (1)$$

여기서, α 는 정규화된 수렴계수이고, \hat{P}_x' 는 $\mathbf{x}'(n)$ 의 파워에 대한 추정치이다. \hat{P}_x' 을 추정하는 가장 간단한 방법은 $\mathbf{x}'^2(n)$ 에 대한 running-average 필터를 사용하는 것이다. 다음은 $\mathbf{x}'^2(n)$ 에 대한 M 차 running-average 필터이다.

$$\hat{P}_x'(n) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \mathbf{x}'^2(n-i) \quad (2)$$

만약 running-average 필터의 차수가 적응 필터의 차수와 같다면 즉, $L=M$ 이면 다음과 같다.

$$\hat{P}_x' = \frac{\mathbf{x}'^T(n)\mathbf{x}'(n)}{L} \quad (3)$$

식(3)을 식(1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\mu(n) = \frac{\alpha}{\mathbf{x}'^T(n)\mathbf{x}'(n)} \quad (4)$$

식(4)에서 수렴계수는 $\mathbf{x}'(n)=0$ 일 경우 적응필터 $W(z)$ 가 발산하므로 미소량 δ 를 식(4)의 분

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153
* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 경기대학교 기계시스템디자인공학부

모에 더해지면 다음과 같다.

$$\mu(n) = \frac{\alpha}{\delta + \mathbf{x}'^T(n)\mathbf{x}'(n)} \quad (5)$$

적응필터 $W(z)$ 의 계수 벡터인 $\mathbf{w}(n)$ 이 최적의 계수 벡터 \mathbf{w}^o 로 수렴하면 오차신호 $e(n)$ 과 부가경로가 보상된 참조신호 $\mathbf{x}'(n)$ 의 상호상관 $R(n)$ 은 0이 된다는 것이 Co-FXLMS 알고리즘의 기본 개념이며 다음과 같이 표현된다.

$$R(n) = E[e(n)\mathbf{x}'(n)] = 0 \quad (6)$$

식(6)의 상호상관 $R(n)$ 은 $e(n)\mathbf{x}'(n)$ 의 기대값과 같으며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[e(n)\mathbf{x}'(n)] &\approx E\{[d(n) - \mathbf{w}(n)\mathbf{x}'(n)]\mathbf{x}'(n)\} \\ &= E[d(n)\mathbf{x}'(n) - \mathbf{x}'(n)\mathbf{x}'^T(n)\mathbf{w}(n)] \\ &= E[d(n)\mathbf{x}'(n)] - E[\mathbf{x}'(n)\mathbf{x}'^T(n)]\mathbf{w}(n) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 벡터 $\mathbf{w}(n)$ 이 최적 벡터 \mathbf{w}^o 로 수렴하면 $E[e(n)\mathbf{x}'(n)]$ 은 0이 되기 때문에 Co-FXLMS 알고리즘의 기본 개념이 증명된다. 만약 $\mathbf{w}(n)$ 이 \mathbf{w}^o 에서 멀리 떨어져 있다면 상호상관과 수렴계수는 상대적으로 커지고, $\mathbf{w}(n)$ 이 \mathbf{w}^o 에 점점 다가갈수록 상호상관과 수렴계수는 상대적으로 작아질 것이기 때문에 상호상관 $R(n)$ 과 수렴계수 $\mu(n)$ 은 서로 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 식(5)의 수렴계수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu(n) = \frac{C}{\delta + \mathbf{x}'^T(n)\mathbf{x}'(n)} R(n) \quad (8)$$

$$R(n) = \lambda R(n-1) + (1-\lambda)\mathbf{x}'(n)e(n) \quad (9)$$

여기서, C 는 상수이고 λ 은 0에서 1사이의 상수이다. 그러므로 Co-FXLMS 알고리즘은 다음과 같다.

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{CR(n)}{\delta + \mathbf{x}'^T(n)\mathbf{x}'(n)} \mathbf{x}'(n)e(n) \quad (10)$$

3. 시뮬레이션 결과

제안된 Co-FXLMS 알고리즘의 제어성능을 확인하기 위하여 기존의 FXLMS 알고리즘의 제어성능과 비교하여 능동소음제어 시뮬레이션을 수행하였다. 두 알고리즘에 의한 능동소음제어의 결과를 비교하기 위하여 오차신호를 관찰하여 시간에 따른 파워스펙트럼으로 나타내었다.

능동소음제어 시뮬레이션에서 사용된 제어대상신

호는 자동차에서 녹음한 음원신호를 사용하였으며 Overall Level이 63.68dB였고 참조신호는 C3 오더 성분의 신호이다. 필터링된 참조신호를 얻기 위하여 부가경로 모델링 결과를 시뮬레이션에 적용하였으며, 필터차수는 두 알고리즘 모두 100차로 설정하였다.

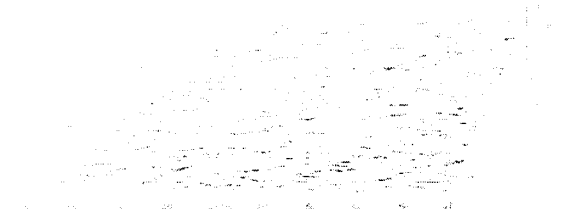


Fig. 1 Recorded Sound in a vehicle



Fig. 2 Control result using FXLMS

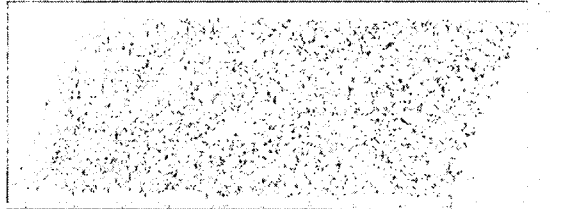


Fig. 3 Control result using Co-FXLMS

FXLMS 알고리즘과 Co-FXLMS 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 한 결과 FXLMS 알고리즘 55.98dB Co-FXLMS 알고리즘 50.64dB로 각각 7.7dB와 13.04dB 저감된 것으로 나타났다. 이는 Co-FXLMS 알고리즘의 적응형 수렴계수가 빠른 수렴 성능을 가지고 있어 주파수가 변화하는 속도에 FXLMS 알고리즘보다 더 빨리 알맞은 주파수의 제어 신호를 생성해 주기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 FXLMS 알고리즘과 Co-FXLMS 알고리즘을 이용하여 차실내에서 녹음된 음원에 대하여 능동소음제어를 수행하였고 Co-FXLMS 알고리즘이 주파수가 변화하는 신호에 대해 더 나은 제어성능을 나타냄을 알 수 있었다.