

제어 성능 향상을 위한 Modified Co-FXLMS 알고리즘의 제안

오재웅† · 양인형* · 권오철* · 이정윤**

J. E. Oh, I. H. Yang, O. C. Kwon, J. Y. Lee

Key Words : Correlation FXLMS(Co-FXLMS), Modified Co-FXLMS, Mean Square Error(MSE)

ABSTRACT

The Correlation FXLMS (Co-FXLMS) algorithm was developed to improve the control performance. The Co-FXLMS algorithm is realized by using an estimate of the cross correlation between the adaptation error and the filtered input signal to control the step size. In this paper, the performance of the Modified Co-FXLMS is presented in comparison with that of the Co-FXLMS algorithm. Simulation results show that active noise control using Modified Co-FXLMS is effective to control performance of algorithm and prevent divergence.

1. 서 론

소음을 저감하기 위한 기존의 방법은 소음의 진행 경로에 흡·차음재나 공명기를 사용하는 수동적인 방법이다. 그러나 이러한 종래의 소음저감대책은 500Hz 이상의 고주파 영역에서는 효과가 높지만 500Hz 이하의 저주파 영역에서는 그 효과가 급격히 떨어지는 문제점을 갖고 있다. 이러한 기존 방법의 문제점을 보완하기 위하여, 적응신호처리기법에 의해 전파되는 소음을 식별한 후 그 소음을 저감시키기 위한 역위상의 부가음을 발생시켜 이들의 파괴간섭을 이용하여 능동적으로 소음을 저감시키는 능동소음제어(Active Noise Control: ANC)에 대한 연구가 부각되었다. 그 중 Filtered-x LMS (FXLMS) 알고리즘이 진동소음의 제어에 많이 적용되고 있다. 그러나 FXLMS 알고리즘은 수렴계수가 고정되어 있기 때문에 이 수렴계수가 작은 값일 때는 안정성은 보장할 수 있지만 수렴속도가 저하된다. 이러한 단점을 보완하고 제어성능을 향상시키기 위해 새로운 적응제어기법인 Correlation FXLMS (Co-FXLMS) 알고리즘이 능동소음제어에 적용되었다. 그러나 Co-FXLMS 알고리즘은 향상된 수렴 속도를 가지고 있으나 쉽게 발산하는 경우가 있다. 본 논문에서는 이러한 Co-FXLMS 의 단점을 보완하는 Modified Co-FXLMS 알고리즘을 제안한다.

2. Co-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.

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

$$R(n) = E[e(n)\mathbf{x}'(n)] = 0 \tag{1}$$

식(1)의 상호상관 $R(n)$ 은 $e(n)\mathbf{x}'(n)$ 의 기대값과 같으며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[e(n)\mathbf{x}'(n)] &\approx E\{[d(n) - \mathbf{w}(n)\mathbf{x}'(n)]\mathbf{x}'(n)\} \\ &= E[d(n)\mathbf{x}'(n) - \mathbf{x}'(n)\mathbf{x}'^T(n)\mathbf{w}(n)] \\ &= E[d(n)\mathbf{x}'(n)] - E[\mathbf{x}'(n)\mathbf{x}'^T(n)]\mathbf{w}(n) \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)에서 벡터 $\mathbf{w}(n)$ 이 최적 벡터 \mathbf{w}^0 로 수렴하면 $E[e(n)\mathbf{x}'(n)]$ 은 0 이 되기 때문에 Co-FXLMS 알고리즘의 기본 개념이 증명된다. 만약 $\mathbf{w}(n)$ 이 \mathbf{w}^0 에서 멀리 떨어져 있다면 상호상관과 수렴계수는 상대적으로 커지고, $\mathbf{w}(n)$ 이 \mathbf{w}^0 에 점점 다가갈수록 상호상관과 수렴계수는 상대적으로 작아질 것이기 때문에

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-0452, Fax : (02) 2299-3153
* 한양대학교 기계공학과
** 경기대학교 기계시스템디자인공학부

상호상관 $R(n)$ 과 수렴계수 $\mu(n)$ 은 서로 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 수렴계수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu(n) = \frac{C}{\delta + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}'(n)} R(n) \quad (3)$$

$$R(n) = \lambda R(n-1) + (1-\lambda)\mathbf{x}'(n)e(n) \quad (4)$$

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

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{CR(n)}{\delta + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}'(n)} \mathbf{x}'(n)e(n) \quad (5)$$

3. Modified Co-FXLMS 알고리즘

Co-FXLMS 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 안정성 및 빠른 수렴속도가 검증되었다. 그러나 실제 시스템에 적용하여 실험 시 경우에 따라 급격히 수렴한 후 급격히 발산하는 사례가 있었다.

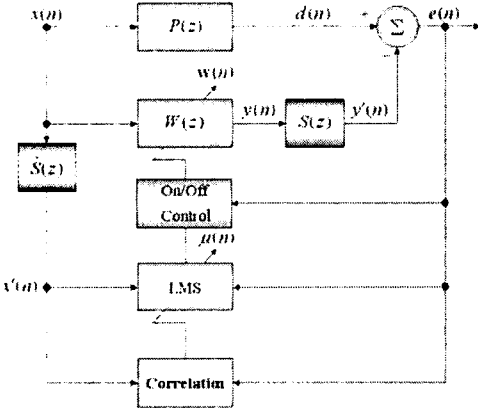


Fig. 1 Block diagram of Modified Co-FXLMS algorithm

이러한 경우 원하는 제어범위까지 수렴하였을 경우 제어상태를 유지하는 것이 중요하다. Fig. 1의 블록선도에서 $e(n)$ 값을 이용하여 On/Off Control 블록에서 MSE 를 연산, 원하는 수렴범위에서 $\mathbf{w}(n)$ 벡터의 갱신을 On/Off 를 판단하여 제어안정성을 높일 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

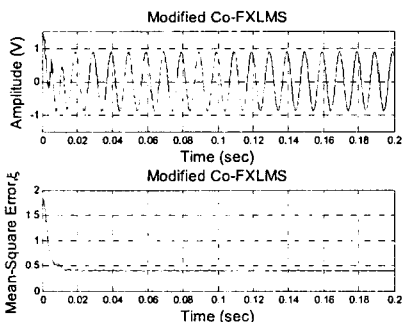


Fig. 2 Simulation result of Modified Co-FXLMS algorithm (On/Off reference MSE 0.5)

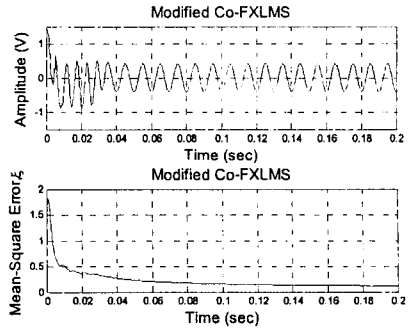


Fig. 3 Simulation result of Modified Co-FXLMS algorithm (On/Off reference MSE 0.3)

Fig. 2 는 MSE 값을 0.5 를 기준으로 하였을 경우의 시뮬레이션 결과이다. MSE 값이 0.5 가 유지되도록 $\mathbf{w}(n)$ 벡터의 갱신의 On/Off 를 제어한다. 따라서 원하는 $e(n)$ 값 즉, 수렴성능 범위를 유지하도록 $\mathbf{w}(n)$ 벡터를 조절한다.

Fig. 3 은 MSE 값을 0.3 을 기준으로 하였을 경우의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 2 의 $e(n)$ 값과 비교하였을 경우 보다 높은 수렴성능 범위에서 제어가 유지되는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- (1) MSE 값을 통하여 원하는 제어 범위를 설정할 수 있다.
- (2) Modified Co-FXLMS 알고리즘을 통해 원하는 제어 성능범위에서 제어 안정성을 높일 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Kuo, S. M., Morgan, D. R., "Active Noise Control Systems, Algorithms and DSP implementations," John Wiley & Sons, New York, 1996.
- (2) Nelson, P. A. and Elliot, S. J., "Active Control of Sound," Academic Press, San Diego, 1992
- (3) Lee, H. J., Kwon, O. C., Lee, J. Y., Oh, J. E., "Performance Improvement of Active Noise Control Using Co-FXLMS Algorithm," Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, 2007.
- (4) Fuller, C. R., Elliott, S. J. and Nelson, P. A., "Active Control of Vibration," Academic Press, San Diego, 1996
- (5) Widrow, B. and Stearns, S. D., "Adaptive Signal Processing," Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N.J., 1985.
- (6) 홍진석, "Filtered-x LMS 알고리즘을 이용한 유연한 보의 능동 진동 제어", 한양대학교 석사 학위 논문, 1996