

강인성을 개선한 적응능동소음제어 시스템

°신승식* 정양웅** 구춘근*** 이상철*** 정찬수*

* : 송실대학교 전기공학과 ** : 군산전문대학 *** : 대유전문대학

An Adaptive System Improving Robustness for Active Noise Control

°Seung-Sik Shin* Yang-Woong Jeong** Choon-Keun Koo*** Sang-Cheol Lee*** Chan-Soo Chung*

* : Dept. of Elec. Engineering, Soongsil University

** : KunSan Junior College *** : DaeYoo Junior College

Abstract

This paper proposes an adaptive Filtered-X LMS algorithm with robustness. The proposed system updates filter parameters to keep the performance even if the conventional Active Noise Control (ANC) system well does not work. As a result of the computer simulation, the proposed system has all the advantage of the system using the conventional Filtered-X LMS algorithm. Also some results from the proposed algorithm present that the system is stable when the Adaptive filter does not work. Therefore, the proposed system using the Adaptive Filtered-X LMS algorithm must have much advantage than the system using the conventional algorithm in the side of the stability and performance.

1. 서론

능동 소음 제어방법은 중첩의 원리를 이용하여 원래의 소음을 인위적으로 만든 음으로 제어하는 방법이다. 공조용 덕트내 응용할 경우, 소음을 장치된 입력 마이크로폰으로 감지하여, 그 감지된 소음과 진폭은 같고 위상이 180° 차이가 나는 인위적인 음파를 발생시켜 소음을 감쇄시키는 방법이다 [1,5,7]. 소음과 인위적인 음파의 오차를 고려한 연구로 시스템의 환경변화에 적응하여 응답하도록 하는 Filtered-X LMS 방법이 많이 이용되고 있다. 하지만 이 방법은 시스템의 변화가 LMS 알고리즘이 추정할 수 있을 정도로 작고 느려야 하는 단점이 있고, 실제 공조 덕트 시스템에 적용될 경우 오차 경로를 보상하는 필터가 동작하지 않을 경우 효과적인 소음 감쇄는 기대할 수 없다. 따라서, 본 논문은 Filtered-X LMS 알고리즘에 강인성을 개선한 알고리즘을 제안한다.

2. Filtered-X LMS 알고리즘

이상적인 공조 덕트 시스템에서 능동 소음 제어를 실현하기 위해 LMS 알고리즘이 많이 사용된다.

그림 2-1은 LMS 알고리즘의 블록선도이며, LMS 알고리즘의 계수 W는 공조 덕트의 전달함수 P에 대한 추정치로서 식 (2-1)로서 생성된다.

$$W(n+1) = W(n) + \mu \cdot X(n) \cdot e(n) \quad (2-1)$$

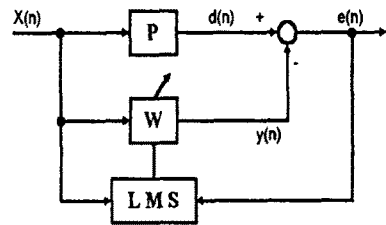


그림 2-1 LMS 알고리즘 블록선도

여기서, X(n) : 입력신호
 y(n) : 제어신호
 P : 공조 덕트의 전달함수
 W : 적응필터
 e(n) : 오차신호
 d(n) : 실제의 소음 신호

그러나 실제 시스템에서 제어신호 y(n)과 소음신호 d(n)이 중첩되는 지점의 오차 신호 e(n)은 LMS 알고리즘에서 사용하는 오차 신호와 다르다. 즉 제어스피커와 오차 마이크로폰, 그리고 중첩되는 지점에서부터 오차 마이크로폰까지의 덕트 전달함수가 존재하게되어, Filtered-X LMS 알고리즘이 제안되었다[1,3,8]. 이 알고리즘에 대한 블록선도는 그림 2-2에 나타내었다.

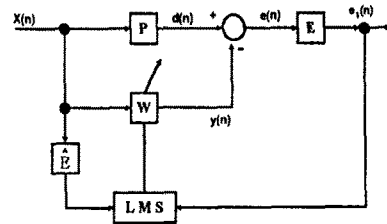


그림 2-2 Filtered-X LMS 알고리즘 블록선도

그림 2-2에서, P는 제어경로의 전달함수이고, E는 오차경로의 전달함수이며, W는 오차신호를 갱신해주는 적응필터이다. 여기서, $e_1(n)$ 은 실제 오차마이크로폰에서 감지한 신호로서 식(2-2)와 같이 표현된다.

$$e_1(n) = e(n) \cdot E \quad (2-2)$$

또한 오차경로를 보상하는 필터 \hat{E} 를 기본 LMS 알고리즘에 추가하였는데, 이 보상필터에는 오차경로의 특성이 사전 정보로서 주어지고, 입력신호 $X(n)$ 을 처리함으로써 LMS 알고리즘 갱신과정에 적용되어 시변시스템에서도 비교적 잘 적용된다. 그러나 오차경로와 스피커, 오차마이크로폰의 특성을 Off-Line으로 처리하여 \hat{E} 에 사전정보를 주어야하므로 전문가의 도움이 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 오차경로와 스피커, 오차마이크로폰의 특성을 On-Line으로 처리하기 위한 새로운 접근이 시도되었다[2].

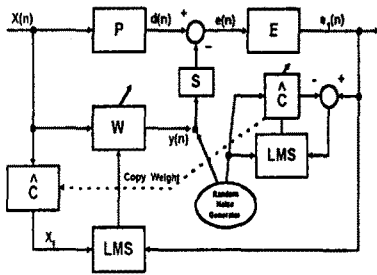


그림 2-3 On-Line Modeling의 블록선도

그림 2-3은 Eriksson이 소개한 알고리즘의 블록선도이다. 입력신호와 오차신호에 독립적인 무상관 Random Noise Generator는 P.E (Persistently Excitation) 조건을 만족시켜주며, 오차경로 E의 사전정보, 즉 적응필터 \hat{C} 와 오차경로에 직접 접속된 스피커(S), 오차 마이크로폰을 여기시키기 위해 사용된다[4].

3. 강인성을 개선한 적응능동소음제어 시스템

Eriksson의 Filtered-X LMS ANC 시스템은 설치할 때마다 시스템을 modeling하지 않아도 되고 프로그램을 바꾸지 않아도 되어 설치가 용이하다. 그러나 적응필터(W)의 강인성이 고려되지 않을 경우, 즉 적응필터가 고장나서 제대로 동작되지 않을 경우에는 그때마다 필터를 복원시켜야하며 적응필터의 수리가 완료될 때까지 소음은 공조 덕트를 그대로 통과하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 강인성이 고려된 Filtered-X LMS ANC 시스템이 제안되었다[5].

그림 3-1에서 오차경로(E)와 스피커(S), 그리고 오차마이크로폰의 전달함수를 추정하여 \hat{C} 로 고정한 후 오차에 대해 적응필터 \hat{P}_0 를 W에 병렬로 연결하여 보상하였다. 여기서, \hat{P}_0 와 \hat{C} 는 Off-Line으로 추정된 사전정보이다[6].

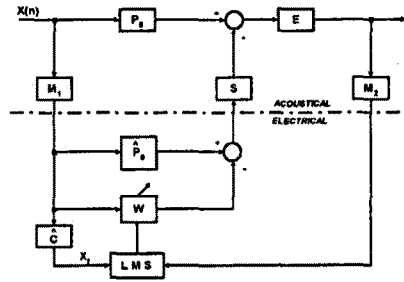


그림3-1 강인성을 고려한 능동 소음 제어기의 블록선도

이 변형된 Filtered-X ANC 시스템도 Off-Line으로 오차경로를 처리하였기 때문에 공조덕트를 On-Line 처리하기 위해 새로운 알고리즘을 제안한다. 그림 3-2는 적응필터 W_1 에 또 하나의 적응필터 W_0 를 병렬로 연결하였고, W_0 는 전달경로에 대한 전달함수로서 일정한 간격마다 W_1 에 의해 식(3-1)처럼 갱신된다.

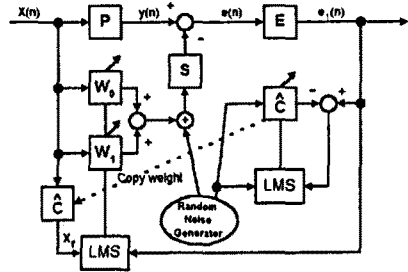


그림 3-2 적응 능동소음제어 시스템의 블록선도

$$W_0 = W_0 + W_1 \quad (3-1)$$

여기서, 각각의 W는 LMS 알고리즘의 계산 결과식 (2-1)로서 주어지며, 초기값을 0으로 할당하여 On-Line 처리하고, Eriksson의 시스템처럼 \hat{C} 를 연속추정한다.

4. 모의 실험

모의 실험은 다음과 같이 구분하여 고찰하였으며, 각각에 대한 설명은 아래와 같다.

- 1) 적응필터 정상 동작시의 시스템 비교
 - Filtered-X 시스템
 - 변형된 Filtered-X ANC 시스템
 - 적응 능동소음제어 시스템
 - 2) 적응필터 비정상 동작시의 시스템 비교
 - Filtered-X 시스템
 - 변형된 Filtered-X ANC 시스템
 - 적응 능동소음제어 시스템
- 사용된 입력신호는 식(4-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$X(n) = a \cdot \sin(2\pi f(t + \tau) + \theta) \quad (4-1)$$

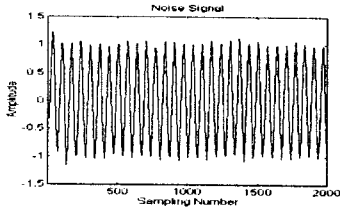


그림 4-1 공조 덕트의 입력신호

여기서, 진폭 a 는 "1", 위상 θ 는 "0" 이고, 시간지연 τ 는 0.0064 [sec]를 사용하였으며, 주파수 f 는 300 [Hz]이다.

• Filtered-X LMS ANC 시스템

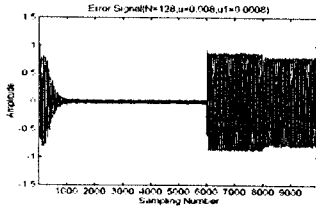


그림 4-2 Filtered-X LMS ANC 시스템

그림 4-2는 Filtered-X LMS 알고리즘을 사용한 모의실험 결과로서, 이 알고리즘이 시스템의 변화에 대해서 적응적으로 소음을 제어하고 있음을 보여주고 있다. 그러나 적응필터가 고장났을 경우(sample number 6000), 시스템은 원래의 소음을 그대로 전달해주고 있다.

• 변형된 Filtered-X ANC 시스템

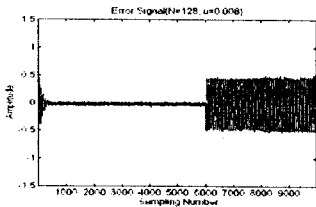


그림 4-3 변형된 Filtered-X ANC 시스템

그림 4-3은 변형된 Filtered-X LMS 알고리즘을 사용한 ANC 시스템의 결과로서 원래의 소음에 대해 적응필터가 정상동작하고, 오차경로에 대한 modeling 오차가 소음에 대해 영향을 주지 못할 경우(sample number 6000 이전)에는 소음을 감쇄시키고 있으나, 오차경로에 대한 modeling 오차를 주었을 때에는 소음이 전달되고 있다. 이렇게 제어경로에 대한 modeling을 특성화하여 적응필터 \hat{F}_0 에 고정시켰기 때문이며, 이렇게 감쇄된 소음은 시스템을 동작할 때마다 약간의 차이가 있을 수 있다. 또한 소음신호의 정상상태는 제어경로에 대한 modeling의 정확성에 따라 그 성능이 좌우되며, 사전정보를 고정시킨 제어경로에 대한 보상필터 \hat{F}_0 에 의해 적응필터가 정상동작을 하지 않을 때에도 소음을 감쇄시킬 수 있다.

• 제안한 적응 능동소음제어 시스템

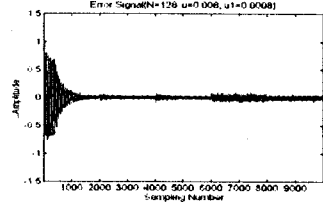


그림 4-4 적응 능동소음제어 시스템

그림 4-4에서처럼 적응 능동소음제어 시스템은 제어경로와 오차경로를 On-Line으로 실행하여 이전의 시스템에 대한 모의실험 결과보다 소음제어 성능이 향상되었다. 소음신호의 과도상태에서, 오차경로에 대한 modeling을 특성화하여 적응필터에 고정시킨 그림4-3의 시스템 결과도 양호하나, 제안한 적응 능동소음제어 시스템은 기존의 시스템과는 다르게 적응필터가 정상적으로 동작을 하지 않을 때와 오차경로에 대한 modeling 오차를 발생시켰을 때 모두 소음 감쇄 효과를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 능동소음제어 시스템의 성능 향상을 위한 방법으로 적응 능동소음 제어시스템을 제안하였다.

모의실험 결과, 제안한 시스템은 오차경로에 대한 사전정보 없이 소음을 제어할 수 있었고, 적응필터가 고장났을 경우와 오차경로에 대한 사전정보를 변화시켰을 경우에 대해서도 우수한 결과를 보여주었다. 향후에는 제안한 알고리즘을 실제의 공조 덕트시스템에 적용하고자 한다.

참고문헌

- [1] P. A. Nelson and S. J. Elliott, Active Control of Sound, Academic Press, 1992
- [2] L. J. Eriksson, "Active Sound Attenuation Using Adaptive Digital Signal Processing Techniques", Phd, thesis, University of Wisconsin-Medison, December 1985.
- [3] Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Prentice Hall, 1985.
- [4] L. J. Eriksson and M. C. Allie, "USE of Random Noise for On-Line Transducer Modeling in An Adaptive Attenuation system", J. Acoust. Soc. Am. 85(2), 1989,
- [5] 정찬수·오학준 외, "능동소음제어기 구성을 위한 전달함수 추정", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.661-663, Feb. 1994
- [6] M. L. Murjal and L. J. Eriksson, "Analysis of A Linear One Dimensional Active Noise Control System by means of Block Diagrams and Transfer functions", Journal of Sound and Vibration (1989) 129(3), pp.443-455
- [7] 정찬수·오학준 외, "강인성을 고려한 능동 소음 제어시스템", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp.332-334, Feb. 1994
- [8] 정양용, "공조덕트시스템에서 강인성이 개선된 적응능동소음제어기 설계", 박사학위논문, 숭실대학교, 1996.