

ANC의 빠른 수렴을 위한 2차 경로 초기화 기술

*김기준 장우진 신성현 윤호원 박호중
광운대학교

*guunkim@kw.ac.kr

Initialization of Secondary Path for Fast Convergence of Active Noise Control

*Kim, Ki-Jun Jang, Woo-Jin Shin, Seong-Hyeon Youn, Ho-Won Park, Hochong
Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 ANC 시스템의 빠른 수렴을 위하여 2차 경로 필터를 초기화하는 방법을 제안한다. 대부분의 ANC 시스템에서는 2차 경로 필터를 설계하기 위하여 LMS 알고리즘을 사용한다. 그러나 기존의 방법들은 2차 경로 필터의 초기 계수 값을 0으로 설정하기 때문에 필터의 수렴 시간이 길어진다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 미리 구한 계수 값을 2차 경로 필터의 초기값으로 설정하여 필터의 수렴 시간을 줄이는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 사용하면 2차 경로 필터의 초기 단계부터 에러가 작게 나타내며, 이에 따라 ANC 시스템의 수렴이 빨라진다. 상용 헤드셋을 이용하여 제안하는 방법을 실험하였으며, 기존 방법보다 빠르게 ANC 시스템이 수렴하는 것을 확인하였다.

1. 서론

산업이 발전함에 따라 소음에 대한 문제는 점점 심각해지고 있다 [1]. 최근에는 헤드셋 환경에서 외부 잡음을 제거하기 위한 Active Noise Control (ANC) 기술이 개발되었다[2]. ANC 기술은 잡음 제거를 위하여 잡음과 동일한 크기와 반대의 위상을 갖는 잡음 방지 신호(anti-noise)를 생성하며, 이 신호를 잡음 신호에 중첩하여 제거한다.

현재 사용되고 있는 피드백(feedback) 방식의 ANC 기술은 하나의 마이크를 사용하여 잡음을 효과적으로 제거한다. 헤드셋에서 ANC 기술을 사용할 경우, 출력 신호가 2차 경로의 영향을 받기 때문에, 일반적인 LMS (least mean square) 알고리즘을 사용할 수 없다. 따라서 그림 1과 같은 Filtered-x LMS (FXLMS) 알고리즘을 사용하여 구현해야 한다[3]. 여기서 $d(n)$ 은 마이크를 통하여 수집된 외부 잡음을 의미하며, 이 마이크는 컷구멍과 가까운 부분에 위치해야 한다. 이와 같은 구조에서는 $S(z)$ 를 추정하는 2차 경로 필터 $\hat{S}(z)$ 를 구해야 한다. $\hat{S}(z)$ 는 그림 1과 같이 추가적인 LMS 알고리즘을 사용하여 구한다.

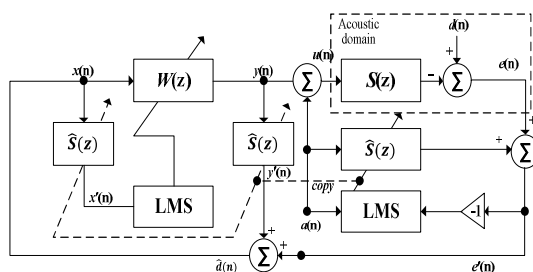


그림 1. Filtered-x LMS 알고리즘을 사용한 feedback ANC.
Fig. 1. Feedback ANC system using filtered-x LMS algorithm.

기존의 ANC에서 사용하는 $\hat{S}(z)$ 를 구하기 위한 LMS 알고리즘은 초기값이 0인 상태에서 필터를 갱신하기 때문에 필터가 빠르게 수렴하지 못하고, ANC 시스템의 수렴이 느려진다. 따라서 2차 경로 필터의 초기 값을 적절히 설정하여 필터의 수렴 속도를 높이는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 $S(z)$ 의 특성을 이용하여 $\hat{S}(z)$ 를 초기화하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 헤드셋 2차 경로의 특성이 사용자와 헤드셋 착용 방식에 따라 크게 변하지 않는 것을 이용하여, 평균적인 $\hat{S}(z)$ 를 구하여 초기값으로 사용한다. 제안하는 방법을 사용하면 LMS의 초기 단계부터 에러가 작게 나타나므로 필터의 수렴이 빨라지고 ANC 시스템의 수렴도 빨라진다.

2. 제안하는 2차 경로 필터 초기화 방법

$\hat{S}(z)$ 를 구하기 위한 오프라인 방식은 그림 1과 같은 구조의 ANC 시스템에서 $W(z)$ 를 0으로 고정하고, $a(n)$ 에 학습 신호를 재생하여 구현한다[4]. 이와 같은 과정을 구조도로 나타내면 그림 2와 같다. 이와 같은 구조에서 에러 출력 신호 $e(n)$ 은 식 (1)과 같이 구한다.

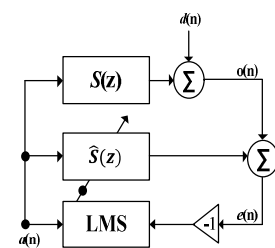


그림 2. 오프라인 방식의 2차 경로 전달함수 추정 방법.
Fig. 2. Offline modeling of the secondary path transfer function.

$$e(n) = o(n) - \sum_{k=0}^{K-1} \hat{S}_k a(n-k) \quad (1)$$

여기서, $\hat{S}_k, k = 0, 1, \dots, K-1$ 은 2차 경로 $S(z)$ 를 추정하기 위한 K 차 FIR 필터 $\hat{S}(z)$ 의 계수를 나타내며, $o(n)$ 은 마이크로 입력되는 신호, 즉, $S(z)$ 를 통과한 $a(n)$ 신호를 나타낸다.

$\hat{S}(z)$ 는 LMS 알고리즘을 사용하여 다음과 같이 갱신한다.

$$\hat{S}(n+1) = \hat{S}(n) + \mu a(n-k)e(n), k = 0, 1, \dots, K-1 \quad (2)$$

여기서, μ 는 스텝 사이즈를 나타낸다. $S(z)$ 의 특성은 헤드셋 내부의 물리적 구조와 사용자의 착용 상태에 의해 결정된다. 그러나 헤드셋 내부의 구조는 변하지 않기 때문에 $S(z)$ 의 변화가 크지 않을 것을 예상할 수 있다. 그림 3은 $S(z)$ 의 주파수 특성을 나타내며, (a)는 한 명의 사용자가 헤드셋을 정확히 또는 앞, 뒤, 위, 아래로 비스듬히 착용한 경우, (b)는 3명의 사용자가 헤드셋을 정확히 착용한 경우를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 사용자 또는 착용 위치가 서로 달라도 주파수 응답은 전체적으로 유사한 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

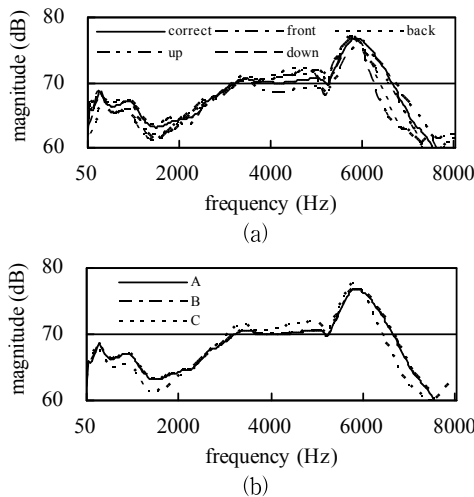


그림 3. 다양한 조건에서의 2차 경로 전달함수의 주파수 응답 (a) 착용 위치 (b) 사용자

Fig. 3. Frequency response of the secondary path transfer function on various conditions (a) Wearing positions (b) Subjects.

$S(z)$ 의 주파수 응답이 착용 환경에 따라 큰 차이를 나타내지 않으므로, 본 논문에서는 $\hat{S}(z)$ 의 초기값을 특정 값으로 설정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 여러 사용자에 대하여, 헤드셋을 정확히 착용한 경우의 $\hat{S}(z)$ 의 값의 평균을 구해 초기값으로 설정한다.

3. 성능 평가

제안하는 방법의 성능 평가를 위하여 Bose 사의 QuietComfort 25 헤드폰을 사용하여 실험을 진행하였다. 그림 4는 $\hat{S}(z)$ 를 구하기 위한 LMS 알고리즘에서, 제안한 방법과 기존의 초기값을 0으로 설정하는 방법에 대한 에러를 나타낸 그림이다. (a)는 헤드셋을 정확히 착용한

경우이며, (b)는 앞으로 비스듬히 착용한 경우이다. (a)가 초기값 설정 환경과 더 유사하지만, 모든 환경에서 $S(z)$ 는 모두 유사하므로 (a)와 (b)가 유사하게 초기 단계에서 낮은 에러를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 즉, 기존의 방식보다 초기 단계에서 에러가 낮으므로 필터가 수렴되는 시간도 빠른 것을 확인할 수 있다.

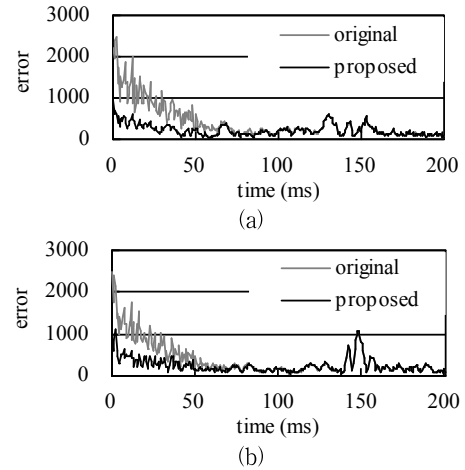


그림 4. 제안한 방법과 기존 방법의 수렴 성능 비교 (a) 정위치 (b) 앞
Fig. 4. Comparison of convergence for the proposed method and the conventional method (a) Correct position (b) Front position.

4. 결론

본 논문에서는 ANC 시스템의 빠른 수렴을 위한 2차 경로 필터 초기화 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 헤드셋을 정확히 착용한 상태에서 LMS 알고리즘을 사용하여 2차 경로 필터의 계수를 구한다. 이처럼 구한 계수 값을 2차 경로 필터의 초기값으로 설정한 후 실제 2차 경로를 추정하기 위한 LMS 알고리즘을 수행한다.

제안한 방법을 사용하면 LMS 알고리즘의 초기 단계부터 에러가 작게 나타내며, 이에 따라 ANC 시스템의 수렴 시간이 빨라진다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부와 한국기술평가관리원의 지원을 받은 산업기술혁신사업의 연구 결과물입니다.[No.10050527, 산업안전망 강화를 위한 범용 모듈, 센서, 시스템 개발사업]

참고문헌

- [1] W. S. Gan and S. M. Kuo, "An intergrated audio and active noise control headsets," *IEEE Tran. Consumer Electron*, vol. 48 no. 2, pp.242-247, May 2002.
- [2] S. M. Kuo and D. R. Morgan, "Active noise control : A tutorial review," *Proceedings of the IEEE*, June 1999.
- [3] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1985.
- [4] Y. Song, Y. Gong, and S. M. Kuo, "A robust hybrid feedback active noise cancellation headset," *IEEE Trans. Speech Audio Process*, vol. 13, no.4 pp. 607-617, Jul. 2005.