

Active Noise Cancelling Headphone using Adaptive Beam-forming Techniques

문성규* · 남현도†
(Sung Kyu Moon · Hyun Do Nam)

Abstract – The Active Noise Cancelling(ANC) headphone is now becoming commercially available. But it reduces not only noise but also information signals such as speech or some signals including audible information in particular situation.

In this paper, we propose an ANC headphone using adaptive beam-forming techniques which cancels signals except the headphone wearer’s look direction signal. It enables workers working in noisy condition to talk with their coworkers. Computer simulation is performed to show the effectiveness of a proposed algorithm.

Key Words : Active noise control, Adaptive beam-forming, LMS

1. 서론

사무실이나 비행기, 자동차 등에서 소음은 안전사고를 유발하거나 작업 능률을 떨어뜨릴 수 있으며, 라디오나 음악의 청취를 방해한다. 소음이 심한 군사용 전차나 공장 등의 소음을 제거하거나 비행기, 자동차 등에서 음악을 듣기 위한 능동소음제거(Active Noise Cancelling, ANC) 기법을 적용한 ANC 헤드폰이 SONY, BOSE 등에서 개발, 시판되고 있다.

현재 사용되고 있는 ANC 헤드폰은 모든 외부 음향을 제거하기 때문에 대화를 위해서는 헤드폰을 벗거나 헤드폰에 장착된 스위치를 이용하여 ANC 기능을 제거하여야 하나, 이 경우에는 소음 때문에 대화를 방해받게 된다[1-2].

본 논문에서는 적응 빔포밍 기법[3]을 이용하여 헤드폰 착용자의 전방 주시방향에서 발생하는 신호에 대한 청취 빔(listen beam)을 형성하여 주시방향인 전방을 제외한 다른 방향의 소음을 제거하여 주변소음에 방해받지 않고 대화 가능한 새로운 형태의 ANC 헤드폰을 제안한다.

2. 적응 빔포밍 ANC 기법

그림 1과 같이 헤드폰 착용자의 전방 주시방향에서 사람의 음성과 같은 정보를 가진 신호가 발생한다고 가정하고 다른 방향에서 소음이 발생한다고 가정한다.

두 외부 마이크로폰은 각각 양쪽 귀 근처에 위치하게 되고 정보신호가 헤드폰 착용자의 일직선 상에서 발생한다고 가정하였기 때문에 정보신호로부터 두 귀까지 각각의 거리

는 동일하게 된다. 이에 반해 헤드폰 착용자의 전방이 아닌 곳에서 발생한 소음은 두 귀까지 도달하는 거리가 다르기 때문에 약간의 시간 지연을 두고 마이크에서 측정되게 된다.

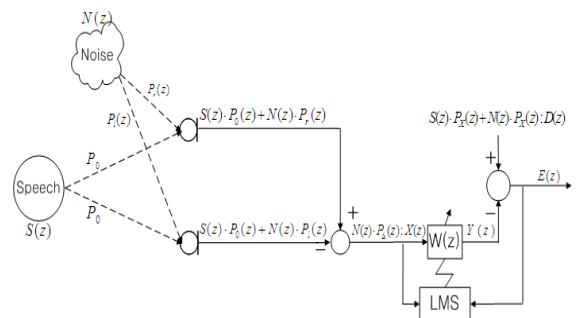


그림 1 적응 빔포밍 ANC 기법 블록다이어그램
Fig. 1 Block diagram of adaptive beam-forming ANC

각각의 마이크로폰에 입력된 신호와 그 차를 z변환 하면 다음과 같다.

$$M_1(z) = N(z)P_1(z) + S(z)P_0(z) \quad (1)$$

$$M_0(z) = N(z)P_r(z) + S(z)P_0(z) \quad (2)$$

$$X(z) = M_1(z) - M_0(z) = N(z)[P_1(z) - P_r(z)] = N(z)P_\Delta(z) \quad (3)$$

$$D(z) = N(z)P_X(z) + S(z)P_X(z) \quad (4)$$

식(3)에서 $P_\Delta(z)$ 는 소음과 양쪽 귀 사이의 전달함수들 간의 차이인 고정된 값이므로 소음 $N(z)$ 에만 상관관계를 갖는 신호를 얻을 수 있다. $X(z)$ 는 적응필터의 기준신호이고, $D(z)$ 는 주변 소음과 음성의 합성신호이며, $P_X(z)$ 는 신호원 $S(z)$ 와 오차 마이크로폰 $E(z)$ 사이의 전달함수이다.

최적화된 적응필터의 전달 함수는 다음과 같다[4].

† 교신저자, 시니어회원 : 단국대학교 공과대학 전자전기공학부 교수
E-mail : hdnam@dankook.ac.kr

* 비 회원 : 단국대학교 공과대학 전자전기공학부
접수일자 : 2010년 5월 13일
최종완료 : 2010년 6월 9일

$$W^*(z) = \frac{\Phi_{xd}(z)}{\Phi_{xx}(z)} \quad (5)$$

$$\Phi_{xd}(z) = \Phi_{NV}(z)P_X(z)P_\Delta(z), \quad \Phi_{xx}(z) = \Phi_{NV}(z)|P_\Delta(z)|^2 \quad (6)$$

$$W^*(z) = \frac{P_X(z)}{P_\Delta(z)} \quad (7)$$

$$E(z) = N(z)P_X(z) + S(z)P_X(z) - N(z)P_\Delta(z) \frac{P_X(z)}{P_\Delta(z)} = S(z)P_X(z) \quad (8)$$

$\Phi_{xd}(z)$ 는 $X(z)$ 와 $D(z)$ 의 상호상관계수 스펙트럼이고, $\Phi_{xx}(z)$ 는 기준신호 $X(z)$ 의 자기상관계수 스펙트럼이다. $\Phi_{NV}(z)$ 는 소음신호의 파워 스펙트럼이고, 소음과 음성신호가 서로 uncorrelate 되어 있다고 가정하면, 식(6)을 식(5)에 대입하면 식(7)을 얻고 이로부터 적응필터의 출력에서 소음 성분이 제거된 식(8)의 음성신호를 얻어 낼 수 있다.

오차 $E(z)$ 를 최소화하는 적응필터 알고리즘으로는 계산 양의 문제 때문에 LMS 알고리즘이 많이 쓰이고 있으나, 수렴 속도가 느리고 바람직한 특성을 얻기 위해서는 차수가 커야 하는 단점이 있으며, 최소 자승법은 수렴 속도는 빠르나 차수가 큰 경우에 계산양이 많으므로 실시간 처리가 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 LMS 알고리즘 중에서 가장 좋은 특성을 보이는 것으로 알려진 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘 [5]을 적응필터 알고리즘으로 사용하였다.

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n)X(n)e(n) \quad (9)$$

$$\mu(n) = \frac{\alpha}{L\hat{P}_x(n)}, \quad 0 < \alpha < 2 \quad (10)$$

$\mu(n)$ 은 적응 스텝의 크기이고 \hat{P}_x 은 입력 $x(n)$ 의 파워 추정치이다. α 는 정규화 된 수렴계수이며, L 은 필터 차수이다.

입력 신호는 exponential window를 사용하여 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{P}_x(n) \cong (1-\beta)\hat{P}_x(n-1) + \beta x^2(n) \quad (11)$$

$$M = \frac{1}{\beta} \quad (12)$$

여기서 M 은 moving window length이고, β 는 smoothing parameter이다.

3. 적응 빔 포밍 기법을 적용한 능동 소음제거 헤드폰

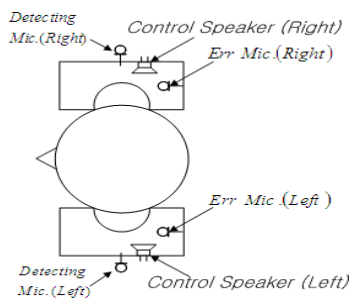


그림 2 적응 빔 포밍 기법을 적용한 ANC 헤드폰
Fig. 2 ANC headphone using adaptive beam-former

제안하는 적응 빔포밍 기법을 적용한 ANC 헤드폰을 그림 2에 나타내었다. 기존의 ANC 헤드폰과 같은 구조를 가지며, 측정 마이크로폰이 좌우 헤드폰 외부에 각각 배치되어 있고 내부에는 소음 성분인 기준신호의 역위상 신호를 발생시킬 제어 스피커, 오차 값 $E(z)$ 측정용 마이크로폰을 배치하였다.

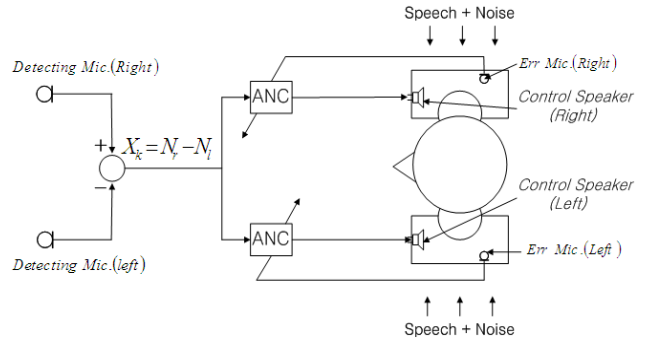


그림 3 적응 빔 포밍 기법을 적용한 ANC 헤드폰
Fig. 3 ANC headphone using adaptive beam-former

그림 3과 같이 헤드폰 외부에서 음성과 소음이 혼재된 신호가 내부로 들어오면 좌우 두 마이크로폰 간의 신호 차를 통해 추정된 소음 성분을 적응시스템의 기준신호로 입력 받고 NLMS 알고리즘을 이용하여 소음의 역 위상 신호를 제어 스피커를 통해 발생시켜서 소음 신호를 감쇄한다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서는 적응 빔 포밍 능동소음제거 성능을 소음 제거 특성과 소음원의 방향에 따른 제거 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

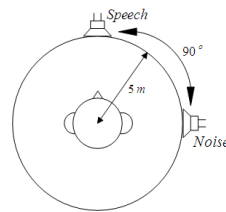


그림 4 시뮬레이션 1 환경
Fig. 4 Environment of simul.1

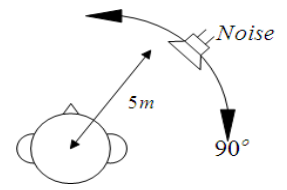


그림 5 시뮬레이션 2 환경
Fig. 5 Environment of simul.2

시뮬레이션 1은 그림 4와 같이 청취자로 부터 반경 5m 정면에서 발생하는 음성신호와 청취자를 중심으로 90도 방향에서 발생하는 소음 신호를 시뮬레이션 하였다. 음성신호와 소음신호는 44.1KHz로 샘플링 되고 16bit로 양자화 된 신호를 사용하였으며 음성신호는 남성화자의 음성을, 소음 신호는 자동차 소음을 사용하였다. 128차 FIR 구조의 적응필터를 사용하였고, 적응상수 μ 의 값은 식(10)과 같이 계산되었다.

시뮬레이션 2는 그림 5와 같이 소음신호를 측정 마이크로폰 부터 반경 5m 정면에서부터 5도씩 청취자 측면인 90도까지 이동시키면서 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 1과 동일한 소

음 신호를 사용하였고 정면에서 시뮬레이션 된 신호를 기준으로 이동시킨 소음신호의 감쇠 비를 각도별로 측정하였다.

그림 6은 시뮬레이션 1의 결과이다. 전방의 음성신호를 남기고 측면의 소음 신호가 상당히 감쇠되었음을 확인할 수 있었다.

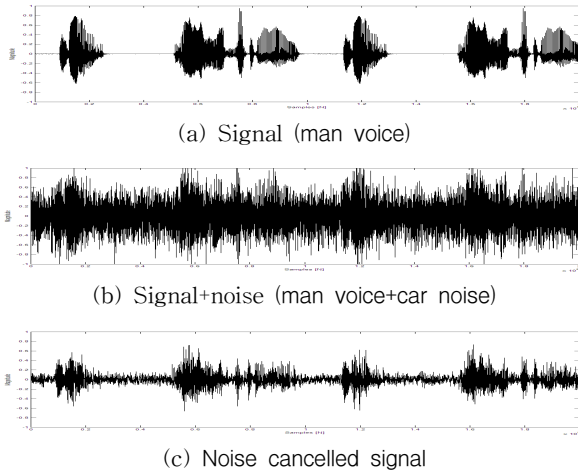


그림 6 시뮬레이션 1의 결과
Fig. 6 Results of simulation 1

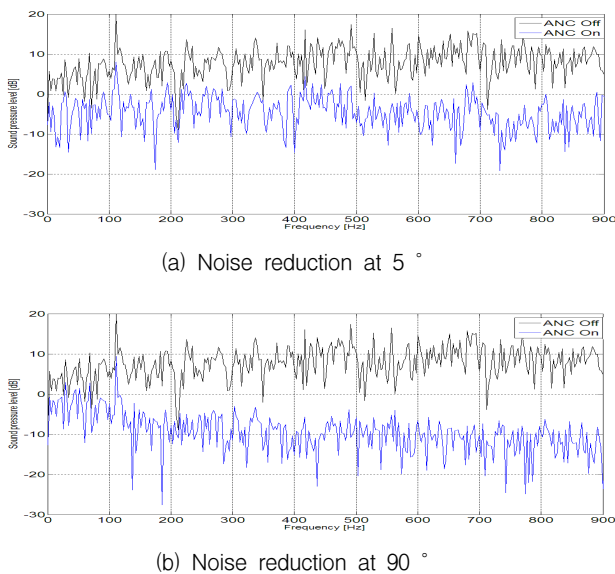


그림 7 각도별 소음 스펙트럼(시뮬레이션 2)
Fig. 7 Noise reduction at each positions (Simulation 2)

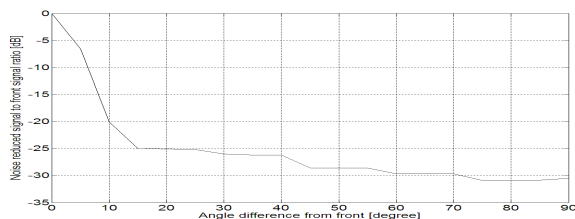


그림 8 소음원 위치에 따른 측면 소음의 감쇠
Fig. 8 Noise reduction versus positions of noise sources

정면에 대해 5도 떨어진 곳에서 소음이 발생한 경우 그림 7(a)에서 보듯이 평균 6[dB] 정도의 소음 감쇠를 보이고, 정면에 대해 90도 떨어진 곳에서 소음이 발생한 경우 그림 7(b)와 같이 평균 30[dB] 정도의 소음 감쇠를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

그림 8에 소음원 위치에 따른 소음의 감쇠 비를 나타내었고, 그림 9에 소음에 대한 listen beam을 나타내었다. 전방 좌우 15도 근처에서 급격한 소음 감쇠를 확인할 수 있었다.

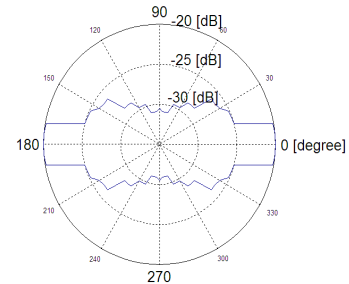


그림 9 소음원 위치에 따른 listen beam
Fig. 9 Listen beam against positions of noise sources

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 피드백 방식의 능동소음제거 헤드폰이 정보신호와 소음의 구분 없이 모든 음향을 제거하여 소음 환경 하에서 대화가 불가능한 것을 보완하고자 적응 빔포밍 기법을 적용한 능동소음제거 헤드폰을 제안하였다.

헤드폰의 좌우측에 배치된 마이크로폰에서 감지된 측면 소음신호의 차이를 이용하면 정면의 음성신호는 제거되고 측면 방향의 소음 신호만 남는 것을 기준신호로 이용하여 측면의 소음을 제거할 수 있었다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 헤드폰 착용자의 주시방향인 전방의 신호를 남기고 다른 방향의 자동차 소음을 30[dB] 이상 감소시켰으며 헤드폰 착용자의 전방을 중심으로 좌우 15도 정도의 listen beam을 형성하는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 2009 학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] S.M. Kuo, S. Mitra and W-S Gan, "Active Noise Control System for Headphone Applications," IEEE Tr. Control System Tech., Vol.14, No.2, pp.331-335, 2006.
- [2] R. Castane-Selga and R.S.P. Pena, "Active Noise Hybrid Time-Varying Control for Motorcycle Helmets," IEEE Tr. Control System Tech., Vol.18, No.3, pp.602-612, 2010.
- [3] A. Farassopoulos, "Speech enhancement for hearing aids using adaptive beamformers," IEEE ICASSP-89, p.1322-1325, 1989.
- [4] B. Widrow and S. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 1985.
- [5] S.M. Kuo. and D. Morgan, *Active Noise Control System*, John Wiley and Sons. Inc., New York, 1996.