

멀티미디어 PC를 이용한 음향반향제거기

박장식*, 손경식*

*동의공업대학 영상정보처리과

**부산대학교 전자공학과

An Acoustic Echo Canceler Using Multimedia PC

Jang-Sik Park, Kyung-Sik Son

Dept of Image Processing, Dong-Eui Institute of Technology

Dept of Electronics Engineering, Pusan National University

Abstract

NLMS algorithm is widely used as acoustic echo canceller. NLMS algorithm is degraded by the ambient noises and the near-end speech signals. In this paper, a robust acoustic echo cancellation algorithm is proposed. To enhance the echo cancellation performance, the step size of the proposed algorithm is normalized by the sum of the power of the reference signals and the primary signals. As results of comparing the excess mean square errors, it is shown that the proposed algorithm can enhance the performance of cancelling the echo signals. Some experiments, which is used multimedia personal computer, are carried out. As results of experiments, the proposed algorithm shows better performance than conventional ones.

1. 서론

음향반향제거기(AEC, acoustic echo canceler)는 원거리화상회의, 핸드프리 전화기 등의 많은 통신 시스템에서 안정한 통화를 방해하는 반향을 제거하기 위해서 사용된다[1][2]. 음향반향제거를 위해서 적응필터 기법이 주로 사용된다. 적응알고리즘으로는 간단하고 안정적인 구현이 용이한 NLMS(normalized least mean square) 알고리즘이 주로 사용되고 있다. 그러나, NLMS 알고리

즘은 기준 입력신호(reference signal)가 음성인 경우 수렴이 느려지는 문제와 근단 화자신호(near-end speech signal)에 의해서 적응필터의 계수가 오조정되는 문제(이를 동시통화(double talk)라고 한다.)가 있다. 따라서 음향반향제거기에서 이러한 문제를 해결하고자 하는 연구가 많이 진행되었다[2]~[5]. 전자의 문제를 해결하기 위해서 APA(affine projection algorithm) 등이 제시되었고[2], 동시통화에 의한 적응필터 계수의 오조정(misadjustment)을 방지하기 위해서 근단화자 신호의 존재여부를 검출하여 적용시키지 않는 방법이

일반적으로 연구되었다[6][8]. 그리고 계산량을 줄여서 반향제거를 실시간 처리를 위해 서브밴드 적응 필터 기법들이 제안되었다[5].

휴대폰이나 PDA(personal digital assistant)등의 보급이 진행되면서 차량 등의 잡음환경에서도 반향제거 성능의 변화가 없는 알고리즘이 필요하다. 또한 개인용 컴퓨터를 이용해서 인터넷으로 음성 통화나 화상회의를 할 때 사운드카드의 측정잡음이나 주변잡음 등에 강인한 음향반향제거기가 요구된다. 그런데 NLMS 알고리즘 등은 이러한 주변잡음에 대해서 영향을 받아 그 성능이 저하된다.

본 논문에서는 주변 잡음에 대해서 강인한 음향반향제거 알고리즘을 제안한다. 적응필터의 적응상수(step-size)를 기준 입력신호의 전력만으로 정규화하는 경우 기준 입력신호의 영향을 받지 않지만 주변잡음의 전력에 영향을 받는다. 특히 기준 입력신호의 전력이 적을 때는 주변잡음의 전력에 의해서 추정오차가 더욱 커진다. 제안하는 알고리즘은 적응상수에 기준 입력신호뿐만 아니라 마이크로폰 입력신호(primary signal)의 전력을 추정하여 얻어진 시변 가중값(time-varying weight)을 곱함으로써 주변잡음의 영향을 줄인다. 결과적으로 제안하는 알고리즘은 기준 입력신호의 전력과 마이크로폰 입력신호 전력의 합으로 정규화한다. NLMS 알고리즘의 과잉 평균자승오차(excess mean square error)는 주변잡음의 전력이 증가함에 따라 증가하는 반면에 제안하는 알고리즘은 입력신호의 전력으로 수렴한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 개인용 멀티미디어 컴퓨터를 이용해서 화상회의를 하는 것으로 실험환경을 설정하고 실험하였다. 실험결과 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해서 안정적으로 적응필터를 적응시키고 반향제거 성능이 향상되었다.

2. 음향반향제거기의 주변잡음 영향

음향반향제거 알고리즘의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. $x(k)$ 는 원단 화자신호(far-end speech signals)이고, 적응필터의 기준 입력신호이다. $y(k)$ 는 스피커에서 출력되어 마이크로 입력되는 반향신호(echo signals)이다. $m(k)$ 는 측정잡음을 포함하는 주변잡음이고 $n(k)$ 는 근단 화자신호이다. 적응필터는 스피커와 마이크로폰 사이의 반향경로(echo

path)를 추정하고 반향신호 $y(k)$ 로부터 적응필터의 출력신호 $\hat{y}(k)$ 를 빼주므로써 반향을 제거한다.

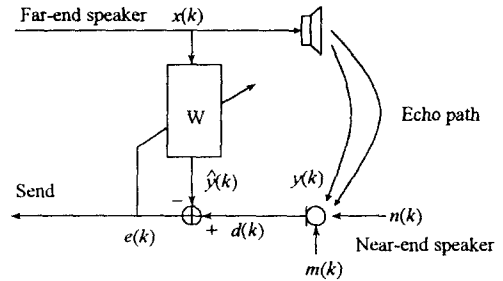


그림 1. 음향반향제거기의 구조

이러한 적응필터를 이용한 음향반향제거기는 일반적으로 NLMS 알고리즘을 활용한다. NLMS 알고리즘은 식(1)~(2)에 나타내었다.

$$e(k) = d(k) - y(k) = d(k) - \mathbf{W}^T(k) \mathbf{X}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + \mu(k)e(k)\mathbf{X}(k) \quad (2)$$

$$\mu(k) = \frac{\alpha}{\mathbf{X}^T(k)\mathbf{X}(k)} \doteq \frac{\alpha}{LP_x}$$

$\mu(k)$ 는 적응상수이고, α 는 적응필터의 정규화 적응상수이고 $\mathbf{X}(k)$ 와 $\mathbf{W}(k)$ 는 각각 적응필터의 기준 입력신호벡터와 계수벡터이다. L 은 적응필터의 차수를 나타내며 P_x 는 입력신호의 전력이다. $d(k)$ 는 마이크로폰으로 입력되어 샘플링된 신호이며, 적응필터의 주입력신호(primary signals)이다. $e(k)$ 는 추정오차신호(estimation error signals)로써 상대방으로 전송되어질 신호이다. 추정오차신호는 음향반향제거기에서는 잔여반향신호(residual echo signals)이기도 하다. 근단화자의 음성신호나 측정오차신호등이 존재하는 경우에는 추정오차신호에 이들 신호들이 포함되어 식(1)과 (2)는 각각 식(3)과 (4)로 표현된다.

$$e(k) = y(k) + n(k) - \mathbf{W}^T(k)\mathbf{X}(k) \quad (3)$$

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + \mu(k)(y(k) - \mathbf{W}^T(k)\mathbf{X}(k))\mathbf{X}(k) + \mu(k)n(k)\mathbf{X}(k) \quad (4)$$

$n(k)$ 는 측정잡음 등을 포함하는 주변잡음신호이다. 적응필터 계수벡터 $\mathbf{W}(k)$ 는 상관관계가 없는 $n(k)$ 에 의해서 오조정된다. 그리고 $n(k)$ 에 근단화자신호가 포함되면 오조정은 더욱 커진다. 따라서 적응필터기법을 이용한 음향반향제거기는 표 1과 같이 적응필터의 신호성분의 유무에 따라 적응과 여과정을 조정한다.

표 1. 적응필터의 동작

통화상태	필터링	필터계수 적응
Idle	off	off
Near-end speech	off	off
Far-end speech	on	on
Doble-talk	on	off

표 1에서 원단화자신호만 있는 경우에는 필터계수 벡터를 적응시키고 필터링을 수행한다. 이때 적응상수는 적응필터가 안정한 수렴을 하도록 입력신호의 전력으로 정규화한다. 원단화자가 없는 경우에는 적응상수를 작게 해서 적응필터의 계수가 주변잡음이나 근단화자신호에 의해서 오조정이 크지 않도록 하는 것이 필요하다.

3. 제안하는 음향반향제거 알고리즘

본 논문에서는 표 1을 바탕으로 해서 주변잡음에 대해서 강건한 음향반향제거 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 적응필터의 계수를 적응시킬 때 식(5)와 같이 가중값을 곱하여 주변잡음에 의한 계수오조정을 감소시키고자 한다.

$$\mu(k) = \frac{\sigma_x^2(k)}{\sigma_x^2(k) + \sigma_d^2(k)} \frac{\alpha}{\mathbf{X}^T(k) \mathbf{X}(k)} \quad (5)$$

$\sigma_x^2(k)$ 와 $\sigma_d^2(k)$ 는 각각 입력신호와 마이크로폰 입력

신호의 분산(variance)이다. 가중값은 근단화자나 주변잡음이 적은 경우에는 1에 가까워져서 NLMS와 같이 적응하고 주변잡음신호가 있는 경우에는 그 전력 만큼 적응상수값을 감소시켜 계수오조정을 줄일 수 있다. 그리고 식(5)는 입력신호벡터의 내적을 입력신호의 전력으로 표현할 수 있기 때문에 식(6)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu(k) &= \frac{\sigma_x^2(k)}{\sigma_x^2(k) + \sigma_d^2(k)} \frac{\alpha}{L\sigma_x^2(k)} \\ &= \frac{\alpha}{L(\sigma_x^2(k) + \sigma_d^2(k))} \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 제안하는 알고리즘은 NLMS 알고리즘에 비해서 크게 계산량이 증가하지는 않는다.

본 논문에서는 과잉평균자승오차(excess mean square error)를 통해서 NLMS알고리즘과 제안하는 알고리즘의 정상상태를 비교하고자 한다. LMS 알고리즘의 최소과잉오차는 식(7)과 같다(7).

$$J_{ex} = \frac{\mu L \sigma_x^2 (J_{min} + \sigma_n^2)}{2 - \mu L \sigma_x^2} \quad (7)$$

J_{min} 는 최소평균자승오차이다. 식(7)의 μ 에 식(2)의 $\mu(k)$ 를 대입함으로써 NLMS 알고리즘의 과잉평균자승오차를 식(8)과 같이 얻을 수 있다.

$$J_{ex-NLMS}(k) = \frac{\alpha (J_{min} + \sigma_n^2)}{2 - \alpha} \quad (8)$$

식(8)에서 NLMS 알고리즘은 입력신호의 전력에 무관하지만 주변잡음신호의 전력에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘 역시 같은 방법으로 그 정상상태 특성을 알 수 있다. 식(7)의 μ 에 식(6)의 $\mu(k)$ 를 대입하면

$$\begin{aligned} J_{ex-prop}(k) &= \frac{\alpha \sigma_x^2 (J_{min} + \sigma_n^2)}{(2 - \alpha) \sigma_x^2 + 2 \sigma_d^2} \\ &= \frac{\alpha \sigma_x^2 (J_{min} + \sigma_n^2)}{(2 - \alpha) \sigma_x^2 + 2(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)} \end{aligned} \quad (9)$$

이 된다.

그림 2는 입력신호의 분산이 1 인 경우에 대해서

주변잡음신호의 분산을 증가시킨 경우에 NLMS 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 과잉최소자승오차를 비교하였다.

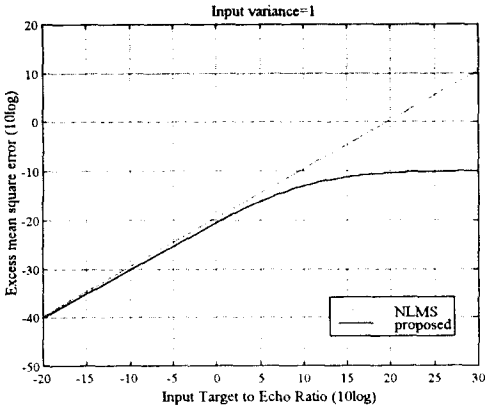


그림 2. 과잉최소자승오차 비교

NLMS 알고리즘은 주변잡음신호의 분산이 증가함에 따라 선형으로 증가하지만 제안하는 알고리즘은 일정한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 이는 식 (9)에서 σ_n^2 가 계속 커지면 식(10)과 같이 일정한 값이 된다.

$$J_{ex-prop}(k) = \frac{\alpha \sigma_x^2}{2} \quad (10)$$

따라서 제안하는 알고리즘은 기존의 NLMS 알고리즘에 비해서 주변잡음에 대해서 강건한 특성을 가질 수 있다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 실험환경을 일반 사무실에서 인터넷을 통한 음성회의를 하는 것으로 설정했다. 멀티미디어 PC의 사운드카드를 전이중 방식(full duplex)으로 설정하고 원단화자신호를 스피커로 출력하면서 동시에 마이크 입력된 반향신호를 녹음하여 반향을 제거하는 실험을 했다. 별도의 DSP를 이용하지 않고 전이중 방식으로 재생 및 녹음하는 프로그램으로 CPU를 이용한 반향제거 실험을 했다.

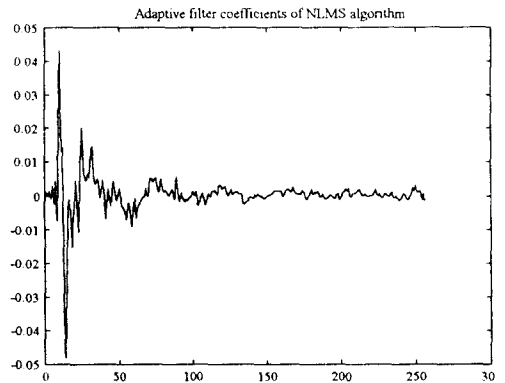
실험에서 적용한 적응필터의 차수는 256차이고 정

규화 적응상수는 α 는 0.2로 두었다. 적응필터의 입력신호의 전력과 마이크로폰 입력신호의 전력은 running power estimate를 추정하였다. 각 전력을 추정하기 위한 망각지수는 0.998로 두고 실험했다.

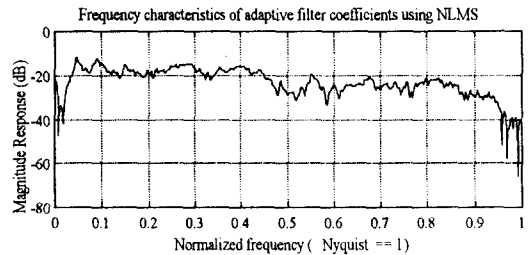
그림 3의 (a)는 평균이 0인 백색잡음을 이용해서 발생시켜서 NLMS 알고리즘으로 반향경로의 임펄스응답을 추정한 것이고 (b)는 반향경로의 주파수 특성이다.

원단화자신호는 여자 음성신호를 8kHz 로 샘플링하고 16 비트로 양자화했다. 그림 4 (a)는 반향신호를 나타낸다. 그림 5는 근단화자신호가 없는 경우에 대한 NLMS 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 ERLE(echo return loss enhancement)이다. 성능 평가를 위한 ERLE는 식(11)과 같이 계산했다.

$$ERLE(k) = 10 \log \frac{\sum_{i=0}^{L-1} y^2(n-i)}{\sum_{i=0}^{L-1} (d(n-i) - \hat{y}(n-i))^2} \quad (11)$$



(a)



(b)

그림 3 반향경로의 임펄스 응답과 주파수 특성

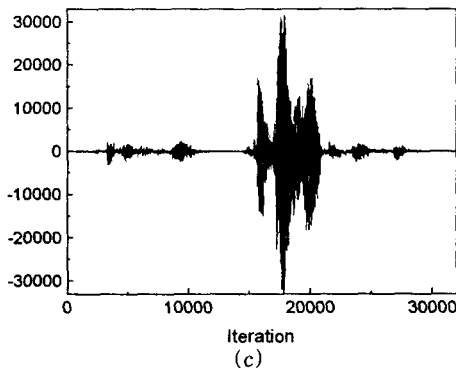
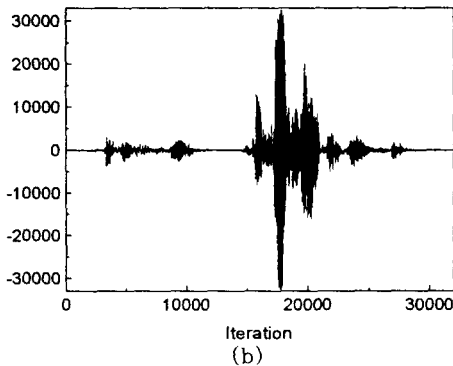
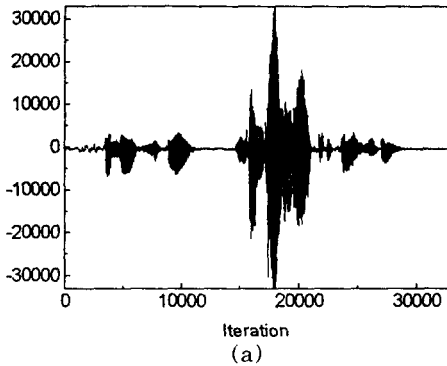


그림 4. 반향신호와 음향반향제거기의 잔여반향신호

그림 4에서 (a)는 동시통화상황에서의 근단화자신호가 포함되어 있는 음향반향신호이다. (b)는 NLMS알고리즘으로 반향을 제거하고 남은 잔여반향이고 (c)는 제안하는 알고리즘으로 반향을 제거하고 남은 반향신호이다. 근단화자신호가 끝나는 부분에서 제안하는 알고리즘의 성능이 우수한 것을 볼 수 있다. 즉 제안하는 알고리즘에 의해서 적응필터의 계수오조정이 개선됨을 알 수 있다.

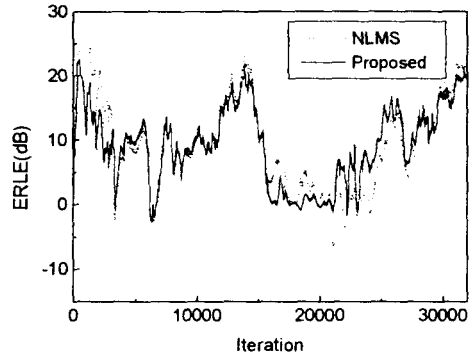


그림 5. ERLE 곡선

그림 5은 음향반향제거기의 성능을 평가하는 ERLE 곡선이다. 근단화자의 음성신호가 없는 경우에는 NLMS 알고리즘이 다소 성능이 우수한 부분이 보인다. 이것은 제안하는 알고리즘이 수렴초기에 수렴속도가 NLMS 알고리즘에 비해서 느리기 때문이다. 그러나 근단화자신호가 있는 경우에는 제안하는 알고리즘이 안정된 수렴을 하는 것을 알 수 있다. 이 영역에서 NLMS 알고리즘의 ERLE가 제안하는 알고리즘보다 우수하게 나오기는 하지만 실제로는 계수오조정에 의해서 근단화자의 음성신호에 왜곡이 발생하여 에너지가 감소된 결과이다. 그리고 근단화자의 음성신호가 끝난 영역에서는 NLMS 알고리즘은 근단화자의 음성신호에 의해서 계수오조정이 많이 발생해서 반향제거 성능이 저하되었지만 제안하는 알고리즘은 영향을 적게 받았음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 주변잡음 등에 대해서 강인한 특성을 갖는 음향반향제거 알고리즘을 제안했다. 개인용 멀티미디어 컴퓨터를 이용한 실험을 통해서 기존의 NLMS 알고리즘에 비해서 계산량이 크게 증가하지 않으면서 반향제거 성능이 NLMS 알고리즘에 비해서 향상됨을 보였다. 제안하는 입력신호의 전력과 마이크론 입력신호의 전력으로 정규화함으로써 주변잡음에 대해서 강인한 특성을 갖는다. APA(affine projection algorithm)등의 알고리즘에도 제안하는 시변적응상수를 사용함으로써 그 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. Antweiler, J. Grunwald and H. Quack. "Approximation of Optimal Step Size Control for Acoustic Echo Eancellation," ICASSP 96.
- [2] K. Ozeki and T. Umeda, "An Adaptive Filtering Algorithm Using an Orthogonal projection to an affine subspace and its property," Electron. Comm. Japan, VOL. 67-A, pp.19-27, 1984.
- [3] T. Wigren, "Fast Converging and Low Complexity Adaptive Filtering Using an Averaged Kalman Filter," IEEE Trans. Signal Processing, VOL. 46, NO. 2, pp. 515~518, Feb., 1998.
- [4] M. Tanaka, Y. Kaneda, S. Makino and J. Kojima, "Fast Projection Algorithm and Its Step Size Control," Proc. ICASSP, pp. 945~948, 1995.
- [5] A. Gilloire and M. Vetterli, "Adaptive Filtering in Subbands with Critical Sampling: Analysis, Experiments and Application to Acoustic Echo Cancellation," IEEE Trans. Signal Processing, VOL 40, NO. 8, pp. 1862~1875, Aug., 1992
- [6] S. Makino, J. Noebauer, Y. Haneda and A. Nakagawa, "SSB Subband Echo Canceller Using Low-Order Projection Algorithm," Proc. ICASSP 96', pp.945~948, 1996
- [7] Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 1995
- [8] H. Ye and B. X. Wu, "A New Double-Talk Detection Algorithm Based on the Orthogonality Theorem," IEEE Trans. Communications, VOL. 39, NO 11, pp. 1542~1545, Nov., 1991.