

동시통화 환경에서 강인한 반향제거 성능을 가진 ECLMS 알고리즘에 관한 연구

오학준\* 이승환\* 이해수\*\* 구춘근\*\*\* 정찬수\*  
 숭실대 전기공학과\* 경기공업대\*\* 성남기능대\*\*\*

A Study on ECLMS Algorithm with Robustness  
 for Echo Cancellation in Double-Talk Environment

Hak-Joon Oh\* Seung-Whan Lee\* Hae-Soo Lee\*\* Choon-Keun Koo\*\*\* Chan-Soo Jung\*  
 Dept. E.E. Soongsil Univ\* Kyonggi Institute of Technology\*\* Sunghnam Polytechnic Colleague\*\*\*

**Abstract** - In the double-talk situation where both the near-end and far-end signal present, the performance of echo cancellation using the NLMS algorithm is degraded easily since it freezes the adaptation in this situation. To solve this problem, which utilize the correaltion function values of input signal instead of the input signal itself, have been proposed. Because this algorithm could be used to adapt the filter's parameters continuously even in the double -talk situation, give good convergence property compared with the NLMS. In this paper, we compare and analyze its performance. The computer simulation was performed and the results showed as that ECLMS algorithms were robust and kept the desirable performance even in the double-talk situation.

1. 서 론

적용 필터 중 LMS 알고리즘 또는 NLMS 알고리즘을 적용한 적응 필터는 계산 속도와 하드웨어 구현이 쉽기 때문에 가장 광범위하게 사용한다. 따라서, LMS 알고리즘을 적용한 적응 필터를 제어기로 하여 반향 제거에 대한 연구를 활발히 진행해 왔다[1]. 그러나, 잔여 반향이 존재하는 상태에서 근단화자 신호가 존재하는 동시통화 환경에서는 근단화자 신호는 적응필터의 계수 적용에 방해 요소로 작용하며 그 크기도 반향 신호에 비해 크기 때문에 근단화자가 존재하는 구간에서 필터 계수의 적용이 계속된다면 적응필터가 발산할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적응 알고리즘을 제어기에 적용하고, 추가적으로 동시통화 검출기를 장착하는 방법이 연구되었다[2][3]. 그러나 이 방법 또한 검출기가 동시통화를 감지하면 제어기는 적응을 멈춰 버리고 더 이상의 계수 추정을 하지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 동시통화 환경에서도 반향에 대한 추정을 정상적으로 진행하면서 구조 또한 간단한 ECLMS 알고리즘[4]이 발표되었다.

본 논문에서는 ECLMS 알고리즘을 적용 반향 제거기에 적용하여 동시통화 환경에서의 그 성능을 NLMS 알고리즘을 적용한 제어기와 비교한다. 모의실험 결과 단일통화 환경에서는 ECLMS 및 NLMS 알고리즘을 적용한 제어기 모두 반향 제거 성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나, 동시통화 환경에서는 NLMS 알고리즘을 적용한 제어기는 정상적인 반향 제거를 하지 못한다. 반면, ECLMS 알고리즘을 적용한 제어기는 정상적인 계수 추정을 하여 반향을 제거함을 알 수 있다.

2. 본 론

2.1 적응 반향 제거기

반향 제거기는 우선 반향 경로의 특성을 파악하고, 적응 알고리즘을 사용하여 반향에 대한 복제 신호를 발생시켜, 수신 신호로부터 복제 신호를 빼줌으로써 반향이 제거된다. 전화 통신망에서 NLMS 알고리즘과 같은 적응 알고리즘을 적용하여 필터의 계수를 추정하는 반향 제거기는 그림 1과 같이 반향경로에 병렬로 위치한다.

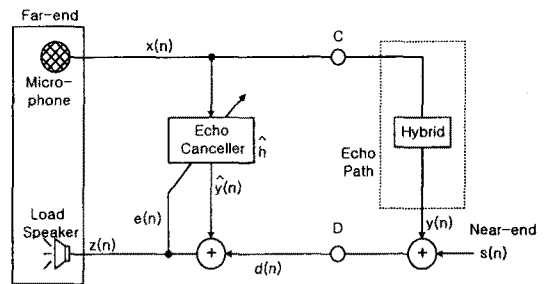


그림 1. 반향 제거기 위치 및 연결 구조

이 그림에서  $x(n)$ 은 원단(far-end)신호이고,  $s(n)$ 은 근단(near-end)신호이다. 그리고,  $y(n)$ 은 제거하고자 하는 반향신호이다. 포트 D에는 송신되어야 할 근단신호  $s(n)$ 과 반향신호  $y(n)$ 이 합쳐져 신호  $d(n)$ 이 입력된다. 이때 반향신호  $y(n)$ 과 송신 포트 D의 신호  $d(n)$ 은 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$y(n) = \sum_{i=1}^{N-1} h_i x(n-i) \quad (1)$$

$$d(n) = y(n) + s(n) \quad (2)$$

여기서,  $h_i$  : 반향경로의 임펄스 응답

$N$  : FIR 필터의 차수

이다.

적용필터의 출력  $\hat{y}(n)$ 은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \hat{h}_i x(n-i) \quad (3)$$

목표신호  $d(n)$ 과 적응필터의 출력  $\hat{y}(n)$ 의 차인 오차신호  $e(n)$ 은 식(4)와 같으며, 이 오차신호는 식(5)에서와 같이 적응필터의 계수를 갱신하는데 사용한다.

$$e(n) = d(n) - \hat{y}(n) \quad (4)$$

$$= y(n) - \hat{y}(n) + s(n)$$

$$\hat{h}_i(n+1) = \hat{h}_i(n) + \frac{2\mu}{\|x(n)\|^2} e(n)x(n-i) \quad (5)$$

여기서,  $\mu$  는 수렴 계수로서 적응이득을 나타낸다. 그런데, 동시통화 환경하에서 NLMS 알고리즘을 사용

할 경우 근단신호  $s(n)$ 은 알고리즘의 관점에서는 원하지 않는 신호로 작용한다. 근단신호  $s(n)$ 은 반향에 비해 상당히 큰 에너지를 갖는다. 그래서 근단신호가 존재하는 시간 구간에서도 계속 필터 계수를 적용해 나간다면 수렴 상수  $\mu$ 가 반향 제거기를 발산시키지 않는, 즉 수렴 조건을 만족하는 값을 가지고 있다 하더라도 근단신호에 의해 발산될 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적응필터와 병렬로 동시통화 검출기를 설치하고 동시통화 검출시 적응필터 계수의 적용을 중단시키는 동시통화 검출기를 가진 반향 제거기가 제시되었다[5].

### 2.2 동시통화 검출기를 가진 반향 제거기

동시통화는 근단화자가 먼저 발성을 시작하고 원단화자가 나중에 발성을 하는 경우와 원단화자가 먼저 발성을 시작하고 근단화자가 나중에 발성을 하는 경우로 나눌 수 있다. 전자의 경우 원단과 근단에 설치된 음성구간 검출기(VAD : Voice Activity Detector)로부터 쉽게 판단 될 수 있으나 후자의 경우는 음성구간 검출기로 판단하기 어렵다. 왜냐하면 원단화자 신호가 먼저 시작되는 경우 근단에는 근단화자 신호의 존재 유무에 관계 없이 반향 신호가 존재하기 때문에 근단의 음성구간 검출기는 신호가 있는 구간으로 판단하게 된다. 그러므로 그림 2와 같이 동시통화 검출기(DTD : Double Talk Detector)를 설치한다.

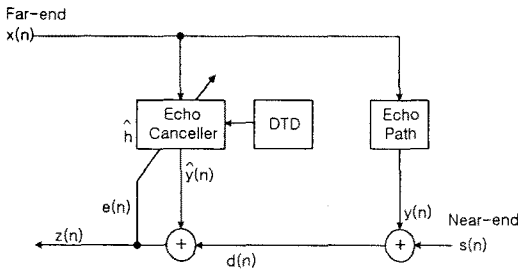


그림 2. 동시통화 검출기를 가진 반향 제거기

현재까지 연구된 동시통화 검출 방법들은 동시통화가 발생한 경우와 반향경로가 변화한 경우를 구분하지 못하거나 구분이 가능하여도 두 상태를 구분하는데 필요한 지연시간이 많이 필요하다. 또한 적응필터의 수렴을 가정한 상태에서의 검출 방법이 대부분이므로 적응필터가 수렴 상태에 도달하기 전에 동시통화가 일어나는 경우에는 오동작을 하게 된다. 그러나, 이러한 문제들을 해결한다 하더라도 근본적으로는 최적의 해를 찾아주지 못한다. 즉, 동시통화검출기가 동시통화를 감지하면 제어기는 적용을 멈춰 버리고 더 이상의 계수 추정을 하지 않으므로 제어가 추정을 잘못하고 있었다면 제거되지 않은 반향이 전화 사용자에게 그대로 전달되는 문제점이 발생한다. 따라서 근본적으로 동시통화 환경에서도 정상적인 계수추정을 할 수 있는 알고리즘의 도입이 필요하다.

### 2.3 ECLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기

앞장에서 보았듯이 동시통화 환경에서 NLMS 알고리즘을 적용하여 반향 제거기를 구성할 경우 근단신호에 의해 발산될 수 있다. 또한 동시통화 검출기를 사용할 경우에도 근본적으로 반향제거를 할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상관함수를 이용하는 ECLMS 알고리즘이 제시되었다. 그림 3은 ECLMS 알고리즘을 적용한 동시통화 반향 제거기의 구조이다.

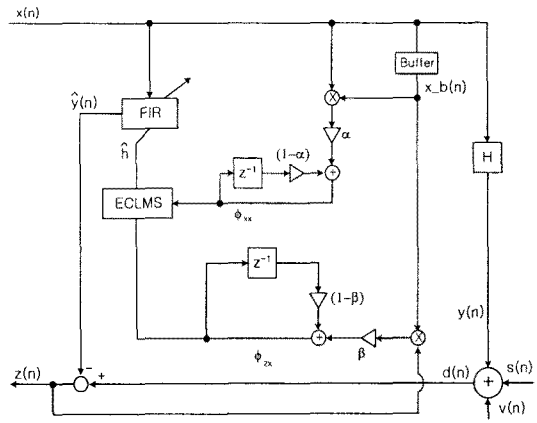


그림 3. ECLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기

동시통화 환경에서, 원단 신호인 입력  $x(n)$ 에 대한 상관 함수는 식 (6)과 같다.

$$\phi_{xx}(n, k) = \sum_{j=0}^n x(j)x(j-k) \quad (6)$$

그리고, 목표 신호  $d(n)$ 과 입력 신호  $x(n)$ 의 상관 함수는 식 (4-2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_{dx}(n, k) = \sum_{j=0}^n d(j)x(j-k) \quad (7)$$

여기서, 목표 신호  $d(n)$ 은

$$d(n) = y(n) + s(n) + v(n) \quad (8)$$

인데,  $v(n)$ 은 랜덤 노이즈를 의미하며, 입력 신호  $x(n)$ 의 반향인  $y(n)$ 은 식 (1)과 같다.

필터 출력  $\hat{y}(n)$ 은 입력신호  $x(n)$ 과 임펄스 응답인 필터 계수  $h_i, i=0, 1, 2, \dots, N-1$ 에 의해 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

오차 신호 벡터  $\mathbf{e}(n)$ 은 식 (9)로 표현한다.

$$\mathbf{e}(n) = [e(n, 0), e(n, 1), e(n, 2), \dots, e(n, N-1)]^T \quad (9)$$

여기서,  $e(n, k)$ 는 다음 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} e(n, k) &= \phi_{dx}(n, k) - \phi_{\hat{y}x}(n, k) \\ &= \phi_{sx}(n, k) + \phi_{yx}(n, k) - \phi_{\hat{y}x}(n, k) \\ &= \phi_{sx}(n, k) + \phi_{\hat{y}x}(n, k) \\ &= \phi_{zx}(n, k) \end{aligned} \quad (10)$$

이 오차신호는 식(11)에서와 같이 적응필터의 계수를 갱신하는데 사용한다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}(n+1) &= \hat{\mathbf{h}}(n) + \frac{2\mu}{1 + \text{tr}[\Psi_{xx}(n) \Psi_{xx}(n)]} \Psi_{xx}(n) \mathbf{e}(n) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $0 < \mu < 1$ ,  $\text{tr}[\cdot]$ 은 trace 연산자이다.

식 (11)를 반향 제거기에 적용하기 위해서는  $\phi_{xx}(n, k)$

와  $\Psi_{xx}(n)$ 의 계산이 필요하다.

따라서, 정상적인 적응을 위해 식 (12) 및 식 (13)과 같은 회귀 방정식을 도입한다.

$$\Psi_{xx}(n, k) = (1 - \alpha)\Psi_{xx}(n-1, k) + \alpha x(n)x(n-k) \quad (12)$$

$$\phi_{zx}(n, k) = (1 - \beta)\phi_{zx}(n-1, k) + \beta z(n)x(n-k) \quad (13)$$

여기서,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 회선 추종 계수[6]로서 현재 데이터값과 과거 데이터 값에 가중치를 주어 수렴속도를 조정하는 것이다.

### 3. 모의실험 결과

원단 신호  $x(n)$ 과 근단 신호  $s(n)$ 으로 사용될 신호는 다음 식 (14), (15)와 같다.

● 원단 신호 :

$$x(n) = x_1(n) + x_2(n) + x_3(n) + x_4(n) + x_5(n) \\ = \sum_{i=1}^5 a(i) \cdot \sin(2\pi f_i t + \tau) \quad (14)$$

● 근단 신호 :

$$s(n) = s_1(n) + s_2(n) + s_3(n) + s_4(n) + s_5(n) \\ = \sum_{i=1}^5 b(i) \cdot \sin(2\pi f_i t) \quad (15)$$

여기서,  $a \cdot b$ 는 진폭이며,  $f$ 는 주파수,  $\tau$ 는 반향 경로를 거친 후의 시간지연을 의미한다.

즉,  $x(n)$ 과  $s(n)$ 은 5개의 정현파가 더해진 복합신호이고 그 각각의 성분은 다음 식 (16)과 식(17)이다.

$$x_1(n) = 0.8 \cdot \sin(2\pi \cdot 200t + \tau) \quad (16a)$$

$$x_2(n) = 0.8 \cdot \sin(2\pi \cdot 400t + \tau) \quad (16b)$$

$$x_3(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 800t + \tau) \quad (16c)$$

$$x_4(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 1600t + \tau) \quad (16d)$$

$$x_5(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 3200t + \tau) \quad (16e)$$

여기서, 시간지연  $\tau$ 는 0로 하여 실험한다.

$$s_1(n) = 0.8 \cdot \sin(2\pi \cdot 240t) \quad (17a)$$

$$s_2(n) = 0.8 \cdot \sin(2\pi \cdot 480t) \quad (17b)$$

$$s_3(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 960t) \quad (17c)$$

$$s_4(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 1920t) \quad (17d)$$

$$s_5(n) = 0.4 \cdot \sin(2\pi \cdot 3840t) \quad (17e)$$

그림 4는 반향 신호  $y(n)$ 의 파형이다. 반향 제거가 제거해야할 대상이 바로 이 반향 신호이다.

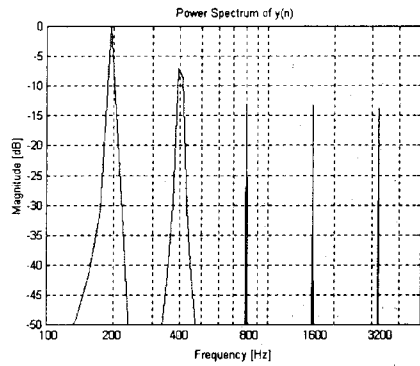
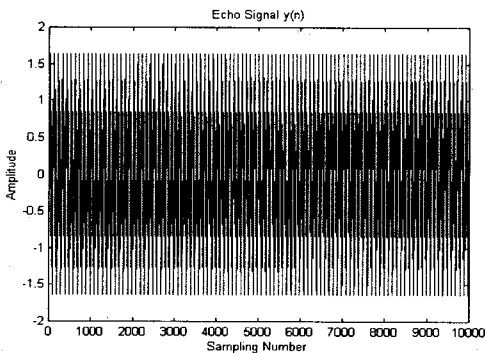


그림 4. 반향 신호(신호와 스펙트럼)

#### 3.1 단일통화 환경

본 모의실험에서 샘플링 간격은 0.05(ms)이고, 10,000개의 데이터를 사용하였다. 반향 제거기의 필터의 차수는 64차이고, step-size  $\mu$ 는 0.2이다. 반향 제거기의 성능은  $z(n)$ 을 통해 반향 신호  $y(n)$ 의 제거 정도를 판단한다. 근단신호  $s(n)$ 이 없는 단일통화 환경의 경우 그림에서 보는바와 같이 ECLMS 알고리즘 및 NLMS 알고리즘을 적용한 제거기 모두 정상적으로 반향이 제거되고, 랜덤 노이즈 성분만 남는다.

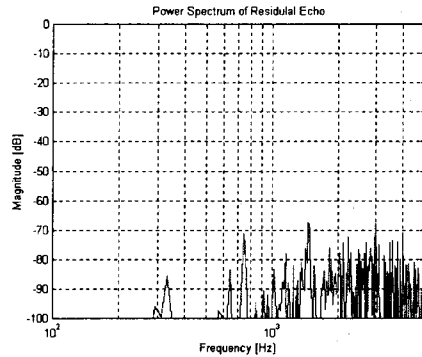


그림 5. 단일통화 환경에서 NLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능

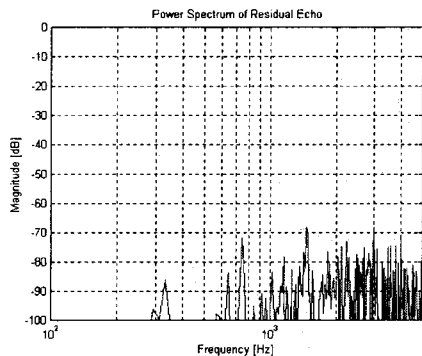


그림 6. 단일통화 환경에서 ECLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능 ( $\alpha, \beta=0.9$ )

### 3.2 동시통화 환경

본 모의실험에서 샘플링 간격은 0.05(ms)이고, 10,000개의 데이터를 사용하였다. 반향 제거기의 필터의 차수는 64차이고, step-size  $\mu$ 는 0.002 이다. 근단 신호  $s(n)$ 이 존재하는 동시통화 환경의 경우에 대해 각 알고리즘의 성능을 확인한다. 제거기의 성능은 그림 3에서의  $s(n) - z(n)$  으로 확인한다. 이는 근단신호  $s(n)$ 을 정상적으로 추정하는지를 확인하고, 반향 성분의 제거 정도를 확인하기 위해서다. 그림 7에서 보는바와 같이 NLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기는 정상적으로 반향을 제거하지 못한다. 반면, 그림 8, 그림 9에서 보듯이 ECLMS 알고리즘을 적용한 제거기는 정상적으로 반향 제거를 하고 있음을 알 수 있다.  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 변화에 따라 반향 제거 성능에 약간의 차이는 있으나, 특성은 같은 양상을 갖는다. 따라서, ECLMS 알고리즘은  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 선택에 제약을 받지 않음을 알 수 있다.

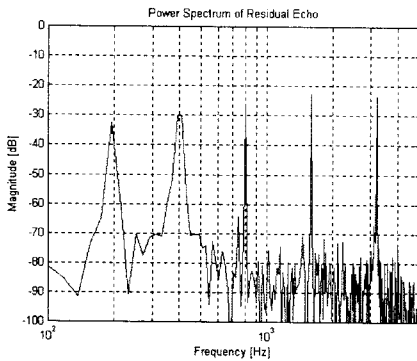


그림 7. 동시통화 환경에서 NLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능

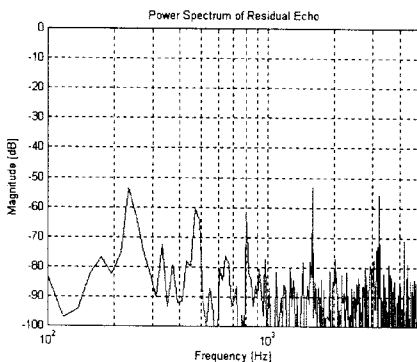


그림 8. 동시통화 환경에서 ECLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능 ( $\alpha, \beta=0.9$ )

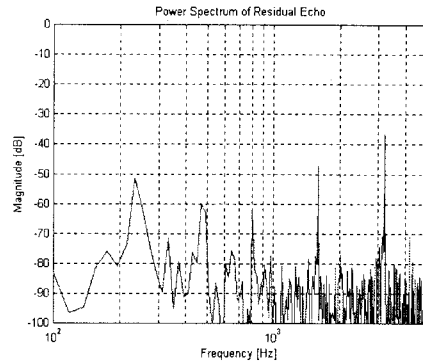


그림 9. 동시통화 환경에서 ECLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능 ( $\alpha, \beta=0.5$ )

## 4. 결 론

본 논문에서는 동시통화 환경에서도 정상적으로 반향에 대한 추정을 진행할 수 있는 ECLMS 알고리즘에 대해 모의실험을 통하여 비교, 분석 하였다. 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 단일통화 환경에서는 ECLMS 및 NLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기 모두 반향 제거 성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나, 동시통화 환경에서는 NLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기는 정상적인 반향 제거를 못한다. 반면, ECLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기는 정상적으로 반향을 제거할 뿐아니라, 회선 추종 계수  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 변화에 대해서도 수렴 특성이 변화하지 않으므로 강인하다는 것을 알 수 있다. 향후, ECLMS 알고리즘의 계산량을 줄여 DSP 칩에 적용하고 실 시스템에 응용하여 연구를 계속하고자 한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] K.Murano, S.Unagami, F.Amano "Echo Cancellation and Applications", IEEE Communications Magazine, vol.28, pp.49-55, Jan. 1990
- [2] S.M. Kuo, and Z. Pan, "Distributed acoustic echo cancellation system with double-talk detector", J. Acoust. Soc. Am., vol. 94, pp. 3057-3060, Dec. 1993
- [3] C.R. Johnson Jr., Z. Ding, and W.A. Sethares, "Frequency-dependent bursting in adaptive echo cancellation and its prevention using double-talk detectors", Int. J. Adapt. Cont. Signal Processing, vol. 4, pp. 219-236, 1990
- [4] M.R.Asharif, T.Hayashi, K.Yamashita, "Expanded CLMS algorithm for Double-Talk Echo Cancelling", in Proc. IEEE, SMC'99, Japan, vol.1, No3, pp.998-1002, Oct. 1999
- [5] J. Prado and E. Moulines, "Frequency-domain adaptive filtering with applications to acoustic echo cancellation", Ann. Telecomun., vol. 49, nos. 7-8, pp. 1-15, 1994
- [6] H.J Oh, C.S Chung et al, "Adaptive algorithm for Double-Talk Echo Cancellation", International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 1438-1441, 2001