

# 상관도를 이용한 음향 반향 제거기의 동시통화 검출기에 대한 연구

이영호\*, 김대경\*\*, 박장식\*\*, 손경식\*

\*부산대학교 전자공학과, \*\*동의공업대학 영상정보학과

## A Study on Double Talk Detector of Acoustic Echo Canceller Using A Correlation Function

Young-Ho Lee\*, Dae-Kyung Kim\*\*, Jang-Sik Park\*\*, Kyung-Sik Son\*

\*Dept. of Electronics, Pusan National University

\*\*Dept. of Image Processing, Donggeui Institute of Technology

### 요 약

본 논문에서는 음향 반향 제거기의 새로운 동시 통화 검출기를 제안하여 근단화자 신호에 의한 적응 필터의 계수 오조정을 줄이고자 하였다. 제안한 동시 통화 검출기는 마이크 입력 신호의 전력과 추정 오차 신호와 마이크 입력 신호간의 상호 상관의 비율 이용하여 동시 통화를 검출하는 방법이다. 제안한 동시 통화 검출기는 주변 잡음이 없는 상황에서는 다른 동시 통화 검출기와 비교하여 우수한 성능을 보였다. 그리고 전체적인 음향 반향 제거기의 향상을 가져 왔다.

### 1. 서론

화상 회의에서나 핸드프리(hands-free) 단말기를 통해서 음성 통신을 하는 경우, 발생하는 음향 반향(acoustic echo)은 부자연스러운 통화를 가져온다. 스피커와 마이크로폰 사이 경로의 공간 특성, 즉 반향 경로가 시간에 대해 고정되어 있으면 고정 필터를 이용해서 그 경로를 모델링하여 마이크로폰의 입력에서 반향 신호를 제거할 수 있다. 하지만 일반적으로 사람의 움직임과 문을 여닫는 등의 원인으로 반향 경로가 시간에 대해 변하므로 반향 신호를 제거하기 위해서 적응 필터(adaptive filter)기법이 사용된다[1].

적응 필터를 이용한 음향 반향 제거에서 적응 필터는 반향 신호와 상관없는 주위 잡음과 근단화자의 음성 신호에 의해서 계수 오조정이 발생한다. 반향 신호와 근단화자의 음성 신호가 같이 발생하는 동시 통화(double-talk) 상황에서 계수 오조정은 심각하게 발생한다. 동시 통화에 의한 계수 오조정을 줄이기 위해서

적응 상수를 조정하는 방법[2]과 동시 통화 검출기를 사용하는 방법이 있다[3,4].

본 논문에서는 마이크 입력 신호와 오차 신호와의 상관도를 동시 통화 검출을 위한 파라미터로 사용해서 계수 오조정을 방지하는 동시통화 검출 알고리즘을 제안한다. 제안하는 동시 통화 검출기는 잡음이 없는 환경에서는 다른 동시 통화 검출기보다 우수한 성능을 보였다.

### 2. 음향 반향 제거

그림1에서  $y(k)$ 는 음성 통신에서 발생하는 음향 반향을 나타낸 것이다. 스피커에서 출력되는 음성 신호가 마이크로 직접 전달되기도 하지만 벽면과 천장 등에 반사되고 감쇠되어 마이크로 전달된다. 이와 같이 발생하는 음향 반향 신호로 인하여 통신의 어려움이 발생한다.

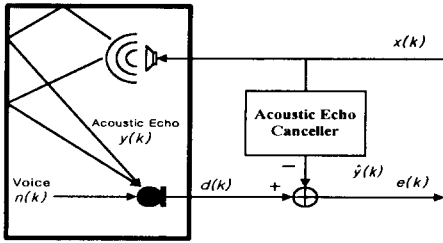


그림 1. 적응필터를 이용한 음향 반향 제거기

그림 1은 적응 필터를 이용한 음향 반향 제거기의 기본적인 구조를 나타내었다. 적응 필터는 반향 경로를 추정하기 위해서 적응 필터의 입력 신호와 오차 신호를 이용한다.  $y(k)$ 는 반향 신호이고  $d(k)$ 는 마이크 입력신호로 근단 화자의 음성 신호와 주위 잡음 신호가 포함된 신호  $n(k)$ 를 포함한다. 적응 필터가 반향 경로를 잘 추정하면 그 출력  $\hat{y}(k)$ 는 반향 신호와 같이 되어서  $d(k)$ 로부터  $\hat{y}(k)$ 를 빼주어서 반향 신호를 제거할 수 있다.

적용 FIR필터로 반향 경로를 모델링하면 필터 길이가 충분히 길어야 한다. 따라서 계산량이 많지 않은 간단한 적응 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 적응 알고리즘의 고찰보다는 새로운 동시통화 검출기에 대하여 고찰하기 위하여 간단하면서 널리 사용되는 NLMS 알고리즘을 적응 알고리즘으로 사용한다. NLMS 알고리즘은 아래와 같다.

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

$$\mu(k) = \frac{\alpha}{L \times E[x^2(k)]} = \frac{\alpha}{L \times \sigma^2} \approx \frac{\alpha}{\mathbf{X}^T(k) \mathbf{X}(k)} \quad (2)$$

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

### 3. 동시 통화 검출

음성 통신에서 이루어지는 대화에서 동시 통화가 발생하는 구간은 전체 대화 시간에 비해서 짧은 것이 일반적이다[11]. 하지만 이 동시 통화에 의해서 발생하는 계수 오조정으로 동시 통화 구간과 동시 통화가 끝난 후 적응 필터가 수렴하기 전까지 반향 신호를 제거하지 못하고 이로 인해서 느끼게 되는 불편함은

크다. 따라서 동시 통화에 의한 계수 오조정을 줄이는 방법이 필요하다. 적응 상수를 가변시켜서 계수 오조정을 줄이는 방법과 더불어 사용되는 방법은 동시 통화 검출기를 사용하는 방법이다[3-5].

동시 통화 검출기는 근단화자의 음성 신호가 발생한 구간을 검출해서 그 구간 동안에는 적응 필터의 동작을 중단해서 계수 오조정의 발생을 방지한다. 동시 통화 발생 전까지 적응 필터가 추정한 반향 경로의 계수 벡터를 유지시켜서 동시 통화 구간과 동시 통화가 끝난 이후의 반향 신호를 제거한다. 그리고 동시 통화가 끝난 시점에서 적응 필터의 수렴이 더 필요한 경우 계수 오조정이 일어난 경우보다 빨리 최적화에 수렴할 수 있다.

동시 통화 검출을 위해서 적응 필터의 입력 신호와 마이크 입력 신호와의 관계나 마이크 입력 신호와 오차신호와의 관계를 일반적으로 사용한다. 후자의 관계를 이용하는 경우에는 식 (4)와 같이 주로 ERLE (echo return loss enhancement)를 사용하여 검출한다.

$$ERLE = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=0}^L d^2(k-i)}{\sum_{i=0}^L e^2(k-i)} \quad (4)$$

### 4. 제안하는 동시 통화 검출기

새롭게 제안하는 동시 통화 검출을 위한 기준은 마이크 입력 신호의 전력과 추정 오차 신호와 마이크 입력 신호간의 상호 상관의 비를 이용하여 동시 통화를 검출하는 방법이다. 동시 통화 발생을 검출하기 위한 파라미터  $\rho(k)$ 는 식(5)와 같다.

$$\rho(k) = \frac{E[e(k)d(k)]}{E[d^2(k)]} = \frac{\sigma_{ed}}{\sigma_d^2} \quad (5)$$

근단 화자의 음성 신호  $n(k)$ 가 존재하는 경우에는 일반적으로 스피커에서 마이크 사이에는 20dB 정도의 감쇠가 있다고 알려져 있기 때문에 반향 신호의 크기를 무시할 수 있다. 따라서 근단 음성 신호가 있는 구간은 적응 필터의 수렴 여부와 관계없이  $d(k)$ 와  $e(k)$ 를  $n(k)$ 라고 볼 수 있다. 결국 근단 화자의 음성이 있는 구간 동안  $\rho(k) \approx 1$  이 된다. 근단 화자의 음성 신호가 없는 경우에는

$$E[e(k)d(k)] = E[(y(k) - \hat{y}(k))y(k)] \quad (6)$$

$$E[d^2(k)] \approx E[y^2(k)] \quad (7)$$

적용 필터가 수렴한 경우 적응 필터는 반향 신호를 잘 추정하게 되고 식(6)은 0이 된다. 따라서 근단 화자의 음성이 없는 경우  $\rho(k) \approx 0$ 이 된다.

근단 화자의 음성 신호가 없으며, 적응 필터가 초기에 수렴하지 않은 구간 동안은 식(6)은 식(7)의 결과와 같고  $\rho(k)$ 는 1이 되어서 동시 통화 검출기가 오동작하는 문제가 있다. 따라서 수렴 초기 구간 동안 동시 통화 검출기를 강제로 멈춘 후 수렴이 된 이후 동작시키면 이러한 문제점을 줄일 수 있다. 그림 2는 동시 통화 검출기를 사용한 음향 반향 제거의 구조이다.

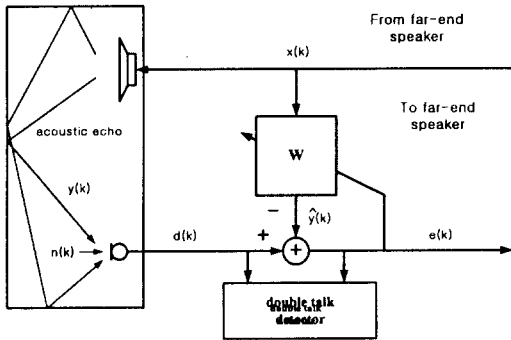


그림 2. 동시 통화 검출기를 사용한 음향 반향 제거

### 5. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 검토

동시 통화 검출기를 이용한 음향 반향 제거기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 비교해 보았다. 반향 경로의 계수 벡터의 길이는 256탭으로 하였고, 적응 필터의 길이도 동일하게 사용하였다. 적응 상수의  $\alpha$ 는 0.2로 두었다. 배경 잡음은 없다고 가정하였다. 음향 반향 제거기의 성능은 ERLE를 사용하여 비교하였고, 적응 알고리즘은 NLMS 알고리즘을 사용하였다. 적응 알고리즘과 동시 통화 검출에 사용되는 각 신호의 전력과 상호상관은 running power estimation으로 구하였다.

$$P_x(k) = \beta P_x(k-1) + (1-\beta) x^2(k) \quad (8)$$

$$P_d(k) = \beta P_d(k-1) + (1-\beta) d^2(k) \quad (9)$$

$$P_{ed}(k) = \beta P_{ed}(k-1) + (1-\beta)e(k)d(k) \quad (10)$$

Running power estimation에서 사용하는  $\beta$ 의 선택이 동시 통화 검출기의 성능을 좌우한다. 값이 1에 가까울수록 정확한 검출에 비해 검출 속도가 늦게 되고 값이 상대적으로 작으면 분산이 커지는 문제를 가진다. 그러므로 적절한  $\beta$ 값을 선택하는 것이 필요한데, 제안하는 동시 통화 검출기에서는 근단 화자 신호를 검출하기 전까지는  $\beta=0.998$ 로 유지해서 분산이 크지 않도록 하였고 근단 화자 신호를 검출하면  $\beta=0.996$ 으로 바뀌어서 근단 화자의 끝점을 빨리 검출하도록 하였다.

동시 통화 검출을 위해 식(5)를 이용하였다. 시뮬레이션에서는  $\rho(k) > 0.25$ 인 경우에 동시 통화 발생이라고 판별하였다. ERLE를 이용하는 동시 통화 검출기에서는 ERLE가 5 dB 이하일 경우에는 동시 통화로 판별하였다. 그림 3의 (a)와 (b)는 동시 통화 검출 결과의 비교를 보여 주고 있다. 제안하는 동시 통화 검출기보다 성능이 우수함을 보였다.

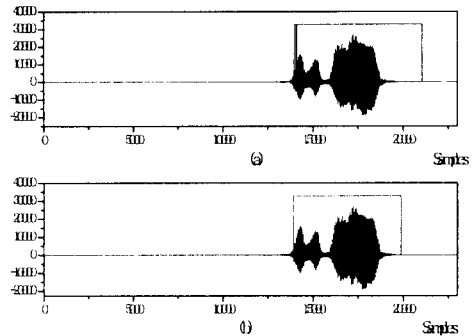


그림 3. 동시 통화 검출기의 성능 비교  
(a) ERLE를 이용한 방법 (b) 제안하는 방법

그림 4는 음향 반향 제거 결과이며, 그림 5는 시뮬레이션 반향 경로와 적응 필터 사이의 계수 부정합을 보여 주고 있다. 그리고 그림 6에서는 각 음향 반향 제거기의 성능 비교를 ERLE를 구하여 비교하였는데 제안한 동시 통화 검출기를 가지는 음향 반향 제거기의 성능이 가장 우수하였다.

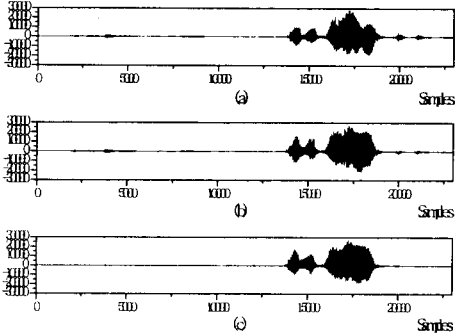


그림 4. 반향 제거 시뮬레이션 결과  
 (a) 동시통화 검출기가 없는 경우  
 (b) ERLE를 이용한 동시 통화 검출기의 경우  
 (c) 제안하는 동시 통화 검출기를 사용한 경우

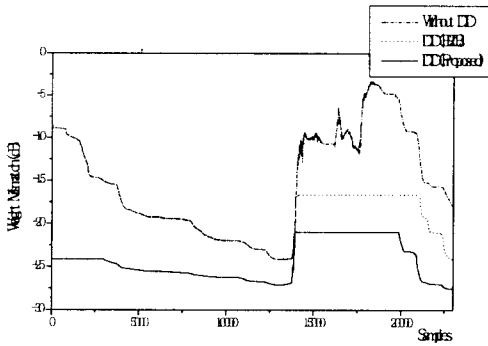


그림 5. 각 알고리즘에 대한 시스템 부정합

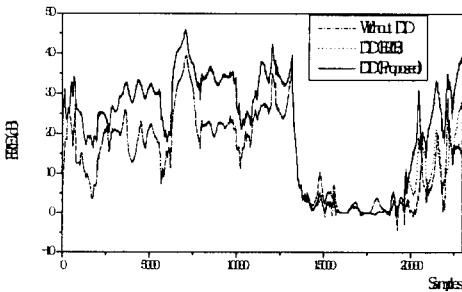


그림 6. ERLE 비교

## 6. 결론

본 논문에서는 음향 반향 제거를 위한 새로운 동시 통화 검출기를 제안하였다. 제안한 동시 통화 검출기는 마이크 입력 신호의 전력과 추정 오차 신호와 마이크 입력 신호간의 상호 상관의 비를 이용하여 동시 통화를 검출하는 방법이며, 적용 알고리즘은 NLMS 알고리즘을 사용하였다. 제안한 동시 통화 검출기는 기존의 동시 통화 검출기에 비하여 배경 잡음이 없는 경우에는 잘 동작하였다. 따라서 근단화자의 음성 신호가 끝난 후 반향 신호와 잔여 잡음의 제거 성능이 다른 동시 통화 검출기를 이용한 음향 반향 제거기보다 우수하였다. 향후에는 주변 잡음이 있는 환경에서의 동시 통화 검출 성능 향상에 대한 연구를 계속할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] H. C. Chen and O. T. C. Chen, "A predictive updating scheme to improve the NLMS algorithm for acoustic echo cancellation", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, pp. 552-555, 1999.
- [2] 박장식, "후처리를 이용한 음향 반향 제거기의 성능향상", 부산대학교 공학 박사학위 논문, 1999.
- [3] P. Heitkamper, "An adaptation control for acoustic echo cancellers", IEEE Signal Processing Letters, vol. 4, no. 6, pp. 170-172, 1997.
- [4] M. Tian, et. al, "Improved echo canceller and implementation", Proc. ICSPAT, vol. 1, pp. 56-60, 1998.
- [5] G. Faucon, R. B. Jeannes, "Double talk detection with application to acoustic echo cancellation", Proc. ICSPAT, vol. 2, pp. 1392-1396, 1998.
- [6] 김주안, 박장식, 손경식, "보청기에서 주위 잡음에 강건한 음향 케환 제거 알고리즘", 한국음향학회 제3회 전기음향학술대회 논문집, pp. 123-126, 1999.
- [7] S. Makino, "The past, present, and future of audio signal processing", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 39-41, 1997.