

# 음향반향제거기에서 보조필터를 이용한 동시통화 검출 성능 개선

김시호, 권홍석, 배건성  
경북대학교 전자·전기공학부

## Applying an Auxiliary Filter in the Adaptive Echo Canceller for Performance Improvement of Double-Talk Detection

Si Ho Kim, Hong Seok Kwon, Keun Sung Bae

School of Electronics & Electrical Engineering, Kyungpook National University  
si5@mir.knu.ac.kr, ksbae@ee.knu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 음향반향제거기에서 상관계수를 이용하여 동시통화 구간을 검출하는 방법에서 검출 오류로 인해 발생하는 문제점에 대해서 다룬다. 상관계수(correlation coefficient)를 이용한 DT 검출 방법에서 동시통화 구간과 반향경로의 변화를 명확하게 구분 짓는 문턱값 설정이 어렵기 때문에 때때로 검출 오류가 발생한다. 즉, 동시통화 중간에 반향경로가 변함으로써 동시통화 구간의 끝점 검출에 실패하거나 반향경로 변화를 DT로 잘못 인식하는 경우가 발생하는데, 이런 경우 더 이상 적응필터의 계수를 갱신을 할 수 없는 상태에 빠지기도 한다. 본 논문에서는 반향제거기에 보조필터를 사용하여 이러한 문제점을 해결하고자 한다. 이는 보조필터가 기준입력신호(reference signal)를 이용하여 변화된 반향신호 성분은 추정할 수 있지만 근단화자 신호는 추정할 수 없다는 점을 이용한다. 실험을 통해 제안한 알고리즘이 검출 오류로 인해 발생하는 문제를 효율적으로 해결할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서 론

적용 음향반향제거기[1]는 그림 1에서와 같이 오차신호를 이용하여 적응필터의 탭 계수를 갱신한다. 이때 오차신호에 근단화자 신호가 포함되는 동시통화(DT: Double-talk) 상태에서는 탭 계수들이 크게 변동하거나 발산하여 반향신호를 제대로 추정하지 못한다. 따라서 적용 음향반향제거기는 마이크 입력신호에 근단화자 신호가 포함되었는지를 검출하여 동시통화 구간에서는 적응필터의 적응을 멈추어야 한다. 동시통화 검출에 사

용되는 알고리즘으로는 원단화자 신호와 마이크 입력신호의 전력을 비교하는 에너지 비교 방법[2], 선형예측계수(Linear Prediction Coefficient)를 비교하는 방법[3], 그리고 원단화자 신호와 오차신호의 상호상관계수를 이용하는 방법[4] 등이 있다. 최근에는 마이크 입력신호와 오차신호의 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법[5]이 계산이 간단하면서도 성능이 우수하여 동시통화 검출에 주로 이용된다.

상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법은 상관계수 값을 문턱값과 비교하여 동시통화 구간의 시작점을 검출한다. 동시통화 구간에서는 오차신호의 대부분을 마이크 입력신호가 차지하므로 두 신호간의 상관계수 값이 1에 가까워지고 수렴상태에서는 0에 가까워진다. 따라서 적당한 문턱값을 설정함으로써 동시통화 구간을 검출할 수가 있다. 한편 동시통화 뿐만 아니라 반향경로가 변할 때도 상관계수 값은 커지는데 일반적으로 반향경로가 변할 때 보다 동시통화 구간에서 더 큰 값을 나타내므로 적당한 중간 문턱값을 설정하여 동시통화 구간과 반향경로의 변화를 구분한다. 그러나 실제 두 경우를 결정짓는 명확한 문턱값은 존재하지 않기 때문에 검출 오류를 발생시키기도 하며, 이로 인해 적응필터가 수렴할 수 없는 상태에 빠지기도 한다. 따라서 본 논문에서는 동시통화 검출 오류로 인해 발생하는 문제점을 지적하고 이에 대한 해결 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법에서의 검출 오류와 이로 인해 발생하는 문제점을 설명한다. III장에서 이에 대한 해결 방안을 제시하고, IV에서는 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

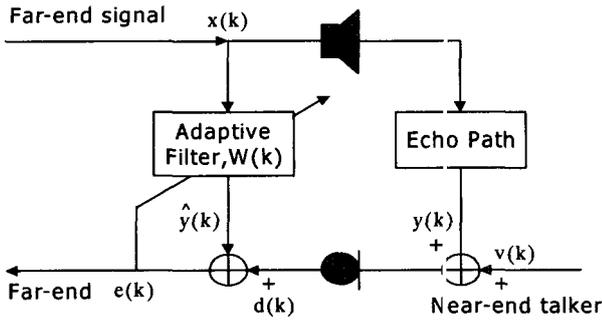


그림 1. 적응 음향반향제거기의 구조

## II. 동시통화 검출 오류

반향제거기에서 동시통화 구간을 검출하는 방법 중에서 상관계수를 이용하는 방법은 상관계수 값을 문턱값과 비교하여 동시통화 구간의 시작점을 검출한다. 근단화자의 신호검출 파라미터로 사용되는 상호상관계수는 식 (1)과 같다. 여기서  $\sigma_d^2$ 와  $\sigma_e^2$ 는 각각 입력신호  $d(k)$ 와 오차신호  $e(k)$ 의 전력을 의미하고,  $\sigma_{de}^2$ 는 입력신호와 오차신호의 상관도를 나타낸다.

$$Cor(k) = \frac{\sigma_{de}^2(k)}{\sqrt{\sigma_d^2(k) \sigma_e^2(k)}} \quad (1)$$

반향제거기의 적응필터가 수렴된 상태에서는 상관계수 값이 0에 가깝지만 동시통화가 시작되면 점점 커져 1에 가까워지므로 적당한 문턱값을 정해서 동시통화 구간의 시작점을 찾는다. 한편 반향 경로가 변화하는 경우(EPC: Echo Path Change)에도 상관계수 값은 커지는데 일반적으로 DT 경우보다 작은 값을 나타내므로 적당한 중간 값을 문턱값으로 설정하여 DT와 EPC의 판단 기준으로 사용한다. 그러나 실제 두 경우를 결정짓는 명확한 문턱값은 존재하지 않기 때문에 판단 오류가 생기기도 한다. 즉, DT 구간의 시작점에서 상관계수 값이 문턱값을 넘지 못해 시작점 검출에 실패하기도 하고, 반대로 EPC 상황에서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 판단되는 경우가 발생하기도 한다. 전자의 경우에는 근단화자 신호가 존재하는 상황에서 필터 계수가 계속 갱신되므로 근단화자의 음성에 많은 왜곡을 발생시키고, 반대로 후자의 경우에는 탭 갱신이 중지되므로 변화된 반향경로를 잘 따라가지 못한다. 또한 후자의 경우처럼 적응이 멈춰진 상태에서 반향경로가 계속 변할 경우 필터 계수는 수렴 상태에서 점점 멀어지면서 상관계수 값은 1에 더욱더 가까워질 것이다. 따라서 적응필터는 DT 구간을 빠져 나오지 못하고 더 이상 탭 갱신을 하지 못하는 상황으로 빠지게 된다. 이러한 문제점은 동시통화 구간에서 반향경로가 변하는

경우에도 발생한다. 동시통화 구간에서는 반향 경로가 변하더라도 탭 갱신을 할 수 없으므로 상관계수 값이 커지는데, 심할 경우에는 실제 동시통화가 끝나더라도 상관계수 값이 문턱값 이하로 줄어들지 않아 더 이상 탭 갱신을 할 수 없는 상황에 빠지게 된다.

그림 2는 반향경로가 변하는 시점에서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 인식되는 경우를 보인 것이다. 그림에서 세로 점선은 반향경로가 변하는 시점을 나타내고 있는데, 9700 샘플에서 반향경로가 변하면서 상관계수 값이 증가한다. 여기서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서면서 DT로 잘못 인식하고 탭 갱신을 멈추게 된다. 이 경우에 문턱값을 높이면 EPC에 대한 검출 오류를 줄일 수 있겠지만, 상대적으로 DT 검출 실패율이 높아지게 된다. 그림 3은 동시통화 구간에서 반향경로가 변하는 경우에 대한 예를 보이고 있다. 동시통화 구간에서 반향 경로가 크게 변했기 때문에 동시통화 구간이 끝나더라도 상관계수 값이 떨어지지 않는 것을 볼 수 있다. 반향경로의 변화가 심하지 않는 환경에서는 앞에서 설명한 문제들이 잘 발생하지 않겠지만, 이동통신 단말기와 같이 반향경로가 수시로 변하는 환경에서는 이러한 문제점이 크게 부각될 수 있으며, 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 요구된다.

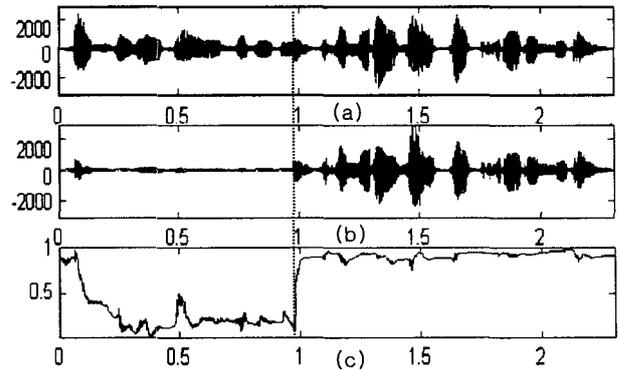


그림 2. EPC를 DT로 잘못 인식한 경우  
(a) 반향신호 (b) 오차신호 (c) 상관계수 값

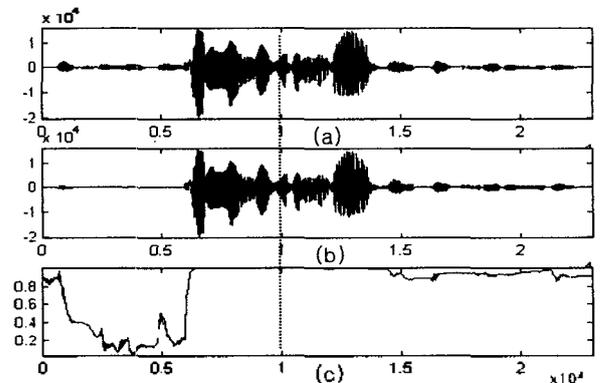


그림 3. DT 구간에서 EPC가 발생한 경우  
(a) 동시통화 구간이 있는 반향신호 (b) 오차신호  
(c) 상관계수 값

### III. 보조필터를 적용한 반향제거기

II장에서 설명한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 다음과 같은 방법을 제안한다. 동시통화 구간의 시작점 검출 오류는 근단화자 신호의 왜곡이라는 심각한 결과를 초래하므로 먼저 시작점 검출 오류를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 상관계수 문턱값을 낮추어 시작점 검출 실패율을 줄인다. 그러나 앞에서 설명했듯이 문턱값이 낮을수록 EPC를 DT로 잘못 검출하는 경우가 자주 발생하는데, 이를 해결하기 위해 보조필터를 사용할 것을 제안한다. DT와 EPC 두 경우 모두 오차신호의 크기가 커진다는 공통점이 있지만, EPC인 경우에는 기준입력신호로 오차신호 추정이 가능하고 DT인 경우에는 추정이 불가능하다는 점을 이용한다. 여기서 보조필터는 기준입력신호를 이용하여 오차신호를 추정하는 역할을 한다. 반향제거기의 오차신호가 근단화자 신호라면 보조필터는 수렴하지 않을 것이며, 반향 경로의 변화에 의해 제거되지 못한 반향 신호 성분이라면 보조필터는 충분히 수렴해서 오차신호를 제거할 수가 있다.

그림 4는 보조필터를 사용하는 반향제거기의 전체 구성도를 나타내고 있다. 그림에서 원 필터의 오차신호  $e(k)$ 가 근단화자 신호였다면 보조필터는 수렴하지 않을 것이며, 만약 반향 경로의 변화에 의해 제거되지 못한 반향 신호라면 기준입력신호  $x(k)$ 를 사용하여 충분히 추정할 수가 있다. 따라서 보조필터의 수렴 여부에 따라 현재의 검출 결과가 DT인지 EPC를 DT로 잘못 판단한 경우인지 구별할 수가 있다. 여기서 보조필터가 수렴하여 EPC로 판단된 경우에는 보조필터의 탭 계수를 원 필터의 계수에 더하여 원 필터에 반향경로의 변화를 바로 반영할 수가 있다. 따라서 원 필터는 변화된 반향경로에 대해서 새로 적용 과정을 거칠 필요 없이 다시 수렴 상태로 돌아갈 수가 있다. 동시통화 구간의 중간에 반향경로가 변하는 경우를 보면, 근단화자 신호가 사라진 후 보조필터가 변화된 반향경로를 추정함으로써 상관계수 값이 떨어지게 된다. 또한 동시통화 구간이 끝난 후 수렴된 보조필터의 계수를 원 필터에 더함으로써 변화된 반향경로를 원 필터에 바로 반영할

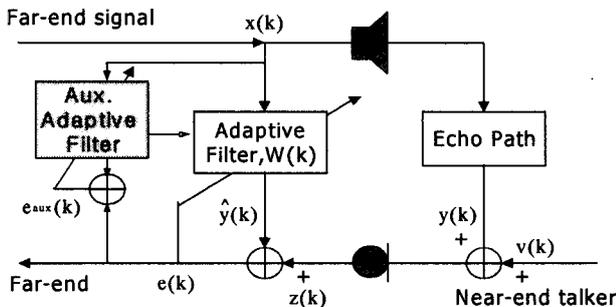


그림 4. 보조필터를 적용한 반향제거기

수가 있다. 결과적으로 보조필터를 사용함으로써 동시통화 구간의 검출 오류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 보조필터가 수렴했을 경우에는 원 필터에 바로 적용할 수 있다는 장점이 있다.

보조필터의 수렴 여부를 판단하는 기준으로는  $e(k)$ 와  $e_{aux}(k)$ 의 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 사용한다.  $e(k)$ 와  $e_{aux}(k)$ 의 ERLE 값을 특정 문턱값과 비교하여 수렴 여부를 판단한다. 일반적으로 반향 경로가 변할 때 필터의 탭 전체가 변하는 것은 아니므로 변화된 반향 경로를 추정하기 위해 사용되는 보조필터의 탭의 개수는 원 필터의 탭 개수 보다 적어도 된다.

### IV. 모의 실험 결과

제안한 알고리즘이 동시통화 검출 오류를 줄일 수 있다는 것을 확인하기 위하여 모의 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 적용필터는 NLMS 알고리즘을 사용하였고, 탭 개수는 256, 적응 상수는 0.3을 사용하였다. 보조필터는 64 탭을 사용하였고, 동시통화 검출을 위해 사용되는 상관계수 문턱값은 0.5로 두었다. 보조필터의 수렴을 판단하는 ERLE 문턱값은 10dB로 두었다.

그림 5는 반향경로가 변하는 경우에 대해서 제안한 알고리즘을 적용함으로써 그림 2에서 설명한 문제를 해결할 수 있음을 보이고 있다. 그림에서 (a)는 입력된 반향신호로서 9700 근처에서 반향 경로가 변하고, (b)는 오차신호를 나타낸다. (c)는 상관계수 값을 나타내는데 반향경로가 바뀌는 시점에서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 인식된다. 그러나 이후로 보조필터가 적응을 시작하여 수렴함에 따라 오인식을 찾아내고, 바뀐 반향 경로에 대해서는 보조필터의 계수를 원 필터에 적용함으로써 상관계수 값은 줄어들게 된다. 그림에서 (d)는 보조필터의 ERLE를 나타내는데 DT로 인식된 시점부터 보조필터의 계수가 갱신을 시작하므로 ERLE가 변하기 시작한다. 그림의 경우는 실제 반향경로가 변했기 때문에 계수를 갱신함에 따라 ERLE가 커지며, 수렴 문턱값 10dB를 넘어서는 순간 수렴으로 판단하여 적응을 멈춘다. 그림의 (d)는 원 적용필터의 ERLE를 나타내고 있는데 반향경로가 바뀌는 부분에서 일시적으로 ERLE가 떨어지지만 다시 복구되는 것을 볼 수가 있다.

그림 6은 그림 3처럼 동시통화 구간에서 반향경로가 변하는 신호에 대해서 제안한 알고리즘을 적용했을 때의 결과를 보이고 있다. 입력된 반향 신호는 6000 샘플에서 13000 샘플까지 근단화자 신호가 존재하며, 동시통화 구간의 중간 9700 샘플에서 반향경로가 바뀐다. 그림에서 (d)는 보조필터의 ERLE를 나타내는데, 동시통화 구간이 시작되면서 보조필터가 적응을 시작하지만 근단화자 신호에 의해 수렴하지는 못한다. 그러나 근단화자 신호가 사라진 후에는 ERLE 값이 커지면서 점점 수렴해감을 볼 수가 있다. ERLE 문턱값이 10dB를 넘

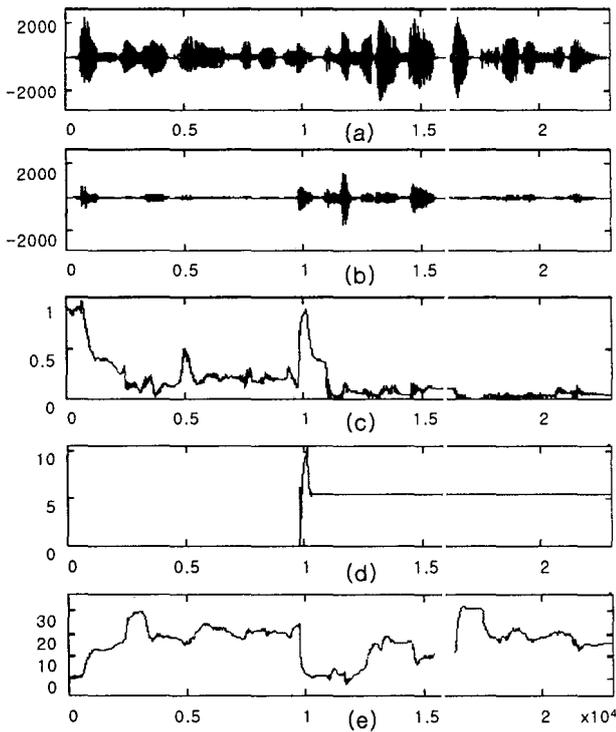


그림 5. 제안한 알고리즘의 적용 결과 (반향경로가 변하는 경우) (a)반향신호 (b)오차신호 (c)상관계수 값 (d)보조필터의 ERLE (e)적용필터의 ERLE

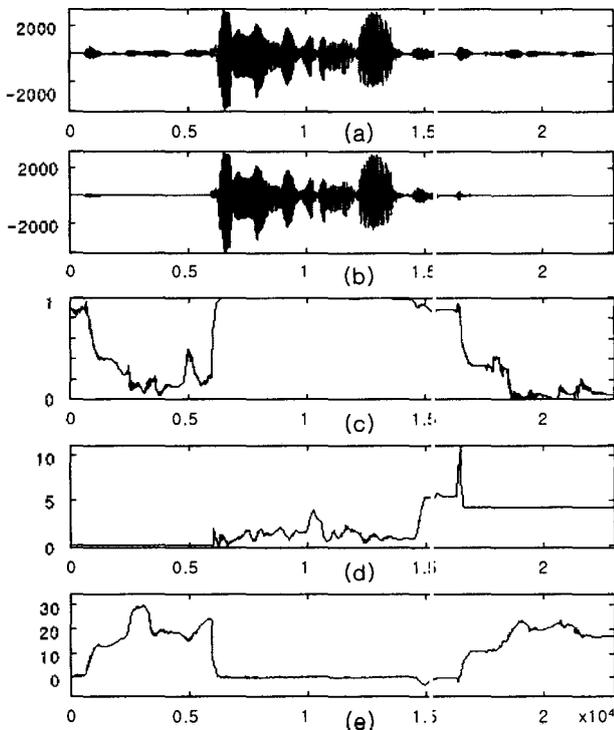


그림 6. 제안한 알고리즘의 적용 결과 (동시통화 구간에서 반향경로가 바뀌는 경우) (a)반향신호 (b)오차신호 (c)상관계수 값 (d)보조필터의 ERLE (e)적용필터의 ERLE

어서는 순간 수렴으로 판단하여 보조필터의 계수는 원 필터에 더해지고, (c)에서 보는 것처럼 상관계수 값은 문턱값 이하로 떨어지게 된다. 따라서 원 필터는 다시 적응을 시작할 수 있고 변화된 반향경로에 잘 적응하는 것을 볼 수가 있다. 그림 (b)에서 근단화자 신호가 사라진 후의 파형을 보면 반향신호가 대부분 제거됨을 알 수가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 음향반향제거기에서 상관계수를 이용하여 동시통화 구간을 검출하는 방법에서 문턱값 설정에 의한 검출 오류와 이로 인해 발생하는 문제점에 대하여 다루었다. 상관계수 값을 문턱값과 비교하여 동시통화 구간을 검출할 때 반향경로 변화를 DT로 잘못 인식하여 적응을 하지 못하는 상황이 발생하기도 하고, 동시통화 구간에서 반향경로가 변하는 경우에는 동시통화 구간의 끝점 검출이 어려워 필터 갱신이 멈추어지기도 한다. 본 논문에서는 반향제거기에 보조필터를 사용하여 이러한 문제를 해결하였다. 보조필터를 사용함으로써 동시통화 구간의 검출 오류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 보조필터가 수렴했을 경우에는 원 필터에 바로 적용할 수 있다는 장점을 가진다. 실험을 통해 보조필터가 동시통화 구간의 검출 오류와 이로 인해 발생하는 문제점을 해결할 수 있음을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Peter Heitkamper, "An Adaptation Control for Acoustic Echo Cancellers," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol.4, No.6, pp.170-172, June, 1997.
- [2] D. G. Messerschmitt, "Echo Cancellation in Speech and Data Transmission," *IEEE J. Select. Areas in Comm.*, Vol. SAC-2, No.2, pp.283-297, Mar. 1984.
- [3] Jae Ha Yoo and Sung Ho Cho, "A New Double Talk Detector Using The Lattice Predictors For An Acoustic Echo Canceller," *Proceeding of IEEE TENCON'97 Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunication* Vol.2, pp.483-486, 1997.
- [4] Hua Ye, Bo-Xiu Wu, "A New Double-Talk Detection Algorithm Based on the Orthogonality Theorem," *IEEE Trans. on Communications*, Vol.39, No.11, pp.1542-1545, Nov. 1991.
- [5] 이행우, 은명의, 김종교, "음향반향제거기의 동시통화처리 알고리즘," *한국음향학회 제 17권 제 3호*, pp.10-15, 1998.