

논문 2005-42SP-1-9

# 음향반향제거기에서 동시통화 검출 성능 개선을 위한 보조필터 적용

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

김 시 호\*, 배 건 성\*

(Siho Kim and Keunsung Bae)

## 요 약

본 논문에서는 음향반향제거기에서 상관계수를 이용하여 동시통화 구간을 검출할 때 발생하는 검출 오류에 대하여 다룬다. 상관계수(correlation coefficient)를 이용한 동시통화 검출 알고리즘에서 동시통화와 반향경로의 변화를 명확하게 구분 지을 수 있는 문턱값 설정이 어렵기 때문에 때때로 검출 오류가 발생한다. 반향경로의 변화를 동시통화로 잘못 판단하면 적응필터의 탭 갱신이 멈추어져 더 이상 수렴할 수 없는 상황에 빠지기도 하고, 동시통화 중에 반향경로가 변하는 경우에는 동시통화 구간의 끝점 검출에 실패하기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 반향제거기에 보조필터를 적용하여 동시통화와 반향경로의 변화를 구분할 수 있는 시스템을 제안한다. 이는 기준입력신호(reference signal)로부터 반향신호는 추정할 수 있지만 근단화자 신호는 추정할 수 없다는 점을 이용한다. 실험을 통해 제안한 시스템 및 알고리즘이 동시통화 검출 오류와 이로 인해 발생하는 문제점을 효율적으로 해결할 수 있음을 확인하였다.

## Abstract

This paper deals with the problem of double-talk (DT) detection in anacoustic echo canceller (AEC). In the DT detection algorithm with correlation coefficient, detection errors occasionally occur because it is hard to set the threshold to distinguish DT from echo path change (EPC). Adaptive filter falls into the situation that it stops updating its filter coefficients when EPC is erroneously considered as DT at the starting-point of EPC. In addition, in case of echo path changing during the DT period, the end-point detection of DT period fails so that the AEC cannot update its filtercoefficients for a while even after the DT period ends. To solve these problems, in this paper, we propose a novel AEC that employs an auxiliary filter. We use the idea that though the error signal cannot be estimated using reference signal in case of DT situation but it can be in case of EPC situation. The experimental result verifies that the proposed method could solve the problems caused by DT detection error or echo path change during the DT period.

**Keywords :** Acoustic echo canceller(AEC), double-talk, adaptive filter, 음향반향제거기, 동시통화

## I. 서 론

적용 음향반향제거기<sup>[1]</sup>는 그림 1과 같이 오차신호를 이용하여 적응필터의 탭 계수를 갱신한다. 이때 오차신호에 근단화자 신호가 포함되는 동시통화(DT: Double Talk) 구간에서는 탭 계수들이 크게 변동하거나 발산하여 반향신호를 제대로 추정하지 못한다. 따라서 적용

음향반향제거기는 마이크 입력신호에 근단화자 신호가 포함되었는지를 검출하는 동시통화 검출기가 필요하며, 검출된 동시통화 구간에서는 적응필터의 탭 갱신을 멈추어야 한다. 동시통화 검출에 사용되는 알고리즘으로는 원단화자 신호와 마이크 입력신호의 전력을 비교하는 에너지 비교 방법<sup>[2]</sup>, 선형예측계수(Linear Prediction Coefficient)를 비교하는 방법<sup>[3]</sup>, 그리고 원단화자 신호와 오차신호의 상호상관계수를 이용하는 방법<sup>[4]</sup> 등이 있다. 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법에서 마이크 입력신호와 오차신호의 상호상관계수를 이용한

\* 정희원, 경북대학교 전자공학과  
(Electronics, Kyungpook National University)  
접수일자: 2004년2월5일, 수정완료일: 2005년1월11일

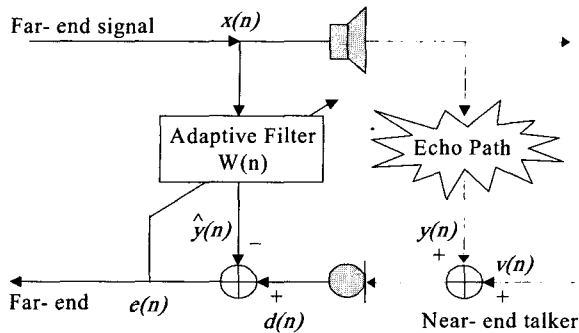


그림 1. 적응 음향반향제거기의 구조

Fig. 1. The structure of an adaptive echo canceller.

방법<sup>[5]</sup>이 계산량이 적으면서 성능이 우수하여 동시통화 검출에 주로 이용된다.

상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법은 상관계수 값을 문턱값과 비교하여 근단화자 신호의 존재유무를 판단한다. 적응필터가 수렴한 상태에서는 상관계수 값이 0에 가깝지만, 동시통화 구간에서는 오차신호가 대부분 마이크 입력신호와 같으므로 두 신호의 상호상관계수 값은 1에 가까워진다. 따라서 적당한 문턱값을 설정하면 근단화자 신호의 존재 유무를 검출할 수가 있다. 한편 동시통화 뿐만 아니라 반향경로가 변할 때도 상관계수 값은 증가하는데 일반적으로 반향경로가 변하는 경우보다는 작은 값을 보인다. 따라서 적당한 중간 문턱값을 설정하여 동시통화 구간과 반향경로의 변화를 구분하는 것이 일반적이다. 그러나 실제 두 경우를 명확하게 구별할 수 있는 문턱값은 존재하지 않기 때문에 때때로 검출 오류가 발생하며 이로 인해 적응필터가 더 이상 수렴할 수 없는 상태에 빠지기도 한다. 본 논문에서는 이러한 동시통화 검출 오류 및 이로 인해 발생하는 문제점을 기술하고 해결 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘과 검출 오류에 대하여 설명하고, III장에서 이에 대한 해결 방안을 제시한다. IV장에서는 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 동시통화 검출 오류

동시통화구간을 검출하는 방법에서 상관계수를 이용하는 방법은 상관계수 값을 문턱값과 비교하여 동시통화 구간의 시작점을 검출한다. 상호상관계수는 식 (1)과 같이 계산되며 식에서  $\sigma_d^2$ 와  $\sigma_e^2$ 는 각각 마이크의

입력신호  $d(n)$ 와 오차신호  $e(n)$ 의 전력을 의미하고  $\sigma_{de}^2$ 는 입력신호와 오차신호의 상관도를 나타낸다.

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

반향제거기의 적응필터가 수렴된 상태에서는 상관계수 값이 0에 가깝고 동시통화가 시작되면 1에 가까워지므로 적당한 문턱값을 설정하여 동시통화 구간의 시작점을 찾는다. 한편 반향 경로가 변화하는 경우(EPC: Echo Path Change)에도 상관계수 값은 증가하는데 일반적으로 DT경우보다 작기 때문에 적당한 중간 값을 문턱값으로 설정하여 DT와 EPC의 판단 기준으로 사용한다. 그러나 실제 두 경우를 명확하게 구분하는 문턱값은 존재하지 않기 때문에 때때로 검출 오류가 발생하기도 한다. 즉, DT 구간의 시작점에서 상관계수 값이 문턱값을 넘지 못해 시작점 검출에 실패하거나, 반대로 EPC에서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 판단되는 경우가 발생한다. 전자의 경우에는 근단화자 신호가 존재하는 상황에서 적응필터의 계수가 계속 갱신되므로 근단화자의 음성이 많이 왜곡되고, 반대로 후자의 경우에는 반향경로가 변함에도 불구하고 탭 갱신이 멈추어지므로 변화된 반향경로를 잘 따라가지 못한다. 또한 후자의 경우처럼 적응이 멈춰진 상황에서 반향경로가 계속 변하면 수렴상태에서 더욱 벗어나 상관계수 값은 1에 가까워 질 것이다. 따라서 적응필터는 변화된 반향경로에 더 이상 적응하지 못하는 상황에 빠지게 된다. 이와 유사한 상황은 동시통화 구간에서 반향경로가 변하는 경우에도 발생한다. 동시통화 구간에서는 반향 경로가 변하더라도 탭 갱신을 할 수 없으므로 변화된 반향경로에 적응하지 못하고 수렴 상태에서 벗어나게 된다. 따라서 동시통화가 끝나더라도 상관계수 값은 문턱값 이하로 떨어지지 않아 동시통화 구간의 끝점 검출에 실패하게 된다.

그림 2는 반향경로가 변하는 시점에서 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 판단되는 예를 보이고 있다. 그림에서 세로 점선은 반향경로가 변하는 시점(약 16,000 샘플)을 나타내고 있으며 이 지점에서 상관계수 값이 급격히 증가한다. 일반적인 경우라면 적응필터가 변화된 반향경로를 추정하여 상관계수 값이 감소하지만 여기서는 적응을 하기 전에 상관계수 값이 문턱값을 넘어서 DT로 잘못 인식되었다. 이러한 경우에 문턱값을 높이면 EPC에 대한 검출 오류를 줄일 수 있지

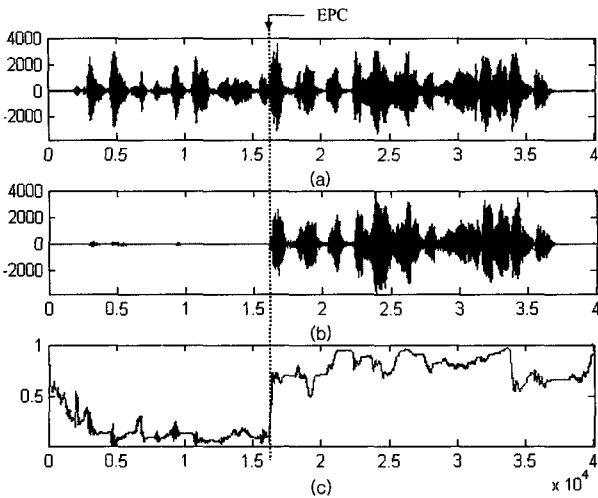


그림 2. EPC를 DT로 잘못 판단한 경우 (a) 반향신호 (b) 오차신호 (c) 상관계수 값  
 Fig. 2. An example that EPC is incorrectly classified as DT (a) Echo signal (b) Error signal (c) Correlation coefficient.

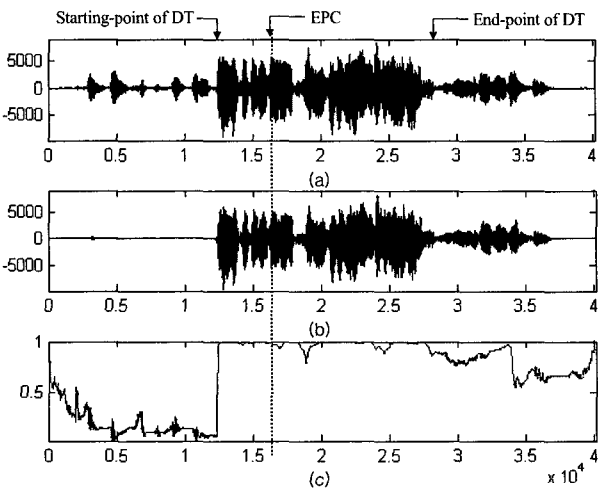


그림 3. DT 구간에서 EPC가 발생하여 끝점 검출에 실패한 경우 (a) 동시통화 구간이 있는 반향신호 (b) 오차신호 (c) 상관계수 값  
 Fig. 3. Endpoint detection error of DT period due to EPC during DT period (a) Echo signal with DT period (b) Error signal (c) Correlation coefficient.

만, 상대적으로 DT 구간의 시작점 검출 오류가 증가하게 된다. 한편 그림 3은 동시통화 구간에서 반향 경로가 변하는 예를 보이고 있다. 동시통화 구간에서 반향 경로가 변해 수렴상태에서 벗어났기 때문에 동시통화 구간이 끝나더라도 상관계수 값은 좀처럼 떨어지지 않는다. 따라서 동시통화 구간의 끝점 검출에 실패하였고 반향신호도 전혀 제거되지 않고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 검출 오류는 특히 이동통신 단말기와 같이 반향경로가 수시로 변하는 환경에서는 빈번히 발생할

수 있으며, 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 요구된다.

### III. 보조필터를 적용한 반향제거기

II장에서 설명한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 방법을 제안한다. 동시통화 구간의 시작점 검출 오류는 근단화자 신호의 왜곡이라는 심각한 결과를 초래하므로 먼저 상관계수 문턱값을 낮게 잡아서 동시통화 구간의 시작점 검출 실패율을 줄인다. 그러나 앞장에서 설명했듯이 문턱값이 낮을수록 EPC를 DT로 잘못 검출할 확률이 높아지므로 본 논문에서는 보조필터를 사용하여 이러한 문제를 해결하고자 한다. DT와 EPC 두 경우 모두 오차신호의 크기가 커진다는 공통점이 있지만 기준입력신호로부터 오차신호를 추정할 때 서로 다른 특성을 보인다. 즉, EPC인 경우에는 오차신호의 대부분이 반향 신호이므로 기준입력신호로부터 오차신호의 추정이 가능하지만, DT 경우에는 오차신호가 대부분이 근단화자 신호이므로 기준입력신호로부터 추정이 불가능하다. 따라서 이러한 차이점을 이용하면 DT와 EPC를 구별하여 검출 오류를 줄일 수가 있다.

그림 4는 보조필터를 적용한 제안한 반향제거기의 전체 구성도를 나타내고, 그림 5는 보조필터를 사용하여 동시통화 구간을 검출하는 알고리즘의 순서도를 도시하고 있다. 먼저 그림 5(a)의 동시통화 구간의 시작점 검출 알고리즘을 보면 상관계수 값이 문턱값을 넘어서면 일단 DT로 판단한 후, 보조필터를 사용하여 기준입력신호  $x(n)$ 부터 오차신호  $e(n)$ 를 추정할 수 있는지를 검사한다. 만약 반향경로가 변하는 상황이라면 보조필터 ( $W_{aux}$ )는 기준입력신호로부터 오차신호  $e(n)$ 을 추정하여 수렴 상태에 이르지만, 동시통화 구간에서는 추정이 불가능하므로 수렴하지 않는다. 여기서 보조필터의 수렴을 판단하는 기준으로는 주 필터( $W$ )의 오차신호  $e(n)$ 와 보조필터  $e_{aux}(n)$ 의 전력 비, 즉 ERLE (Error Return Loss Enhancement)를 사용하며 식 (2)과 같이 저장한다.

$$ERLE(n)[dB] = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=0}^{N-1} |e(n-i)|^2}{\sum_{i=0}^{N-1} |e_{aux}(n-i)|^2} \right) \quad (2)$$

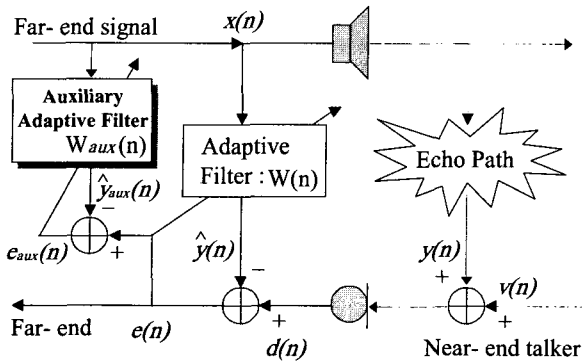


그림 4. 보조필터를 적용한 제안한 반향제거기  
Fig. 4. The proposed AEC with an auxiliary filter.

보조필터가 수렴하여 EPC로 판단된 경우에는 수렴한 보조필터의 탭 계수를 주 필터의 계수에 더하는데, 이것은 주 필터가 좀 더 빠르게 수렴상태에 도달할 수 있도록 한다. 수렴한 보조필터의 계수를 주필터에 더함으로써 주필터가 변화된 반향경로에 근접할 수 있는 것은 다음과 같은 수식 전개로 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 d(n) &= \hat{y}(n) + e(n) \\
 &= \hat{y}(n) + \hat{y}_{aux}(n) + e_{aux}(n) \\
 &= w^H \cdot x + w_{aux}^H \cdot x_{aux} + e_{aux}(n)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \{x(i) / n-N < i \leq n\} \\
 x_{aux} &= \{x(i) / n-M < i \leq n\}
 \end{aligned}$$

여기서  $x$ 는 기준입력신호 벡터이며  $w$ 는 필터계수 벡터를 의미한다.  $N$ 과  $M$ 은 각각 주 필터와 보조필터의 탭 개수를 나타내며  $N \geq M$ 의 관계가 성립한다. 먼저  $w'_{aux}$ 을 식 (4)와 같이 정의하면,

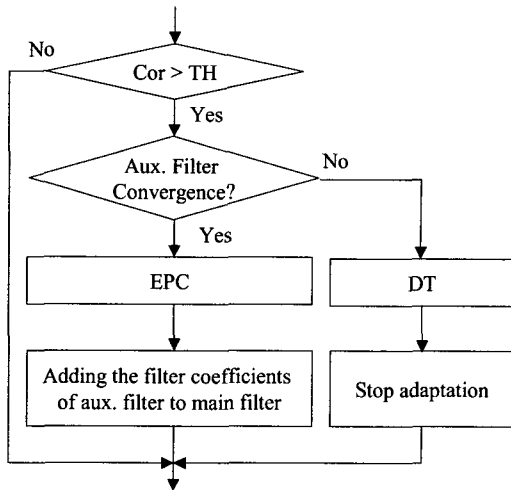
$$w'_{aux} = \begin{cases} w_{aux}(i) , & 0 \leq i < M \\ 0 , & M \leq i < N \end{cases} \tag{4}$$

식 (3)의  $w_{aux}^H \cdot x_{aux}$  항은  $w'^H_{aux} \cdot x$  와 같으므로 식 (3)은 식(5)와 같이 표현된다.

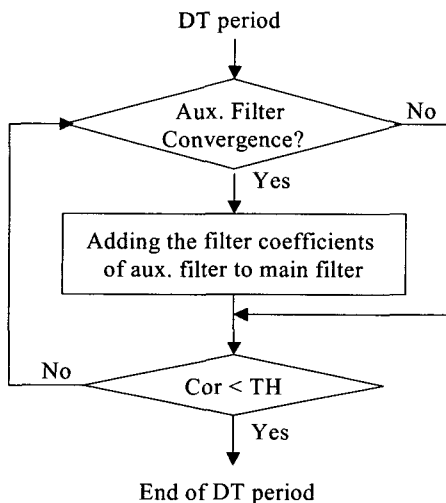
$$\begin{aligned}
 d(n) &= w^H \cdot x + w'^H_{aux} \cdot x + e_{aux}(n) \\
 &= (w + w'_{aux})^H \cdot x + e_{aux}(n)
 \end{aligned} \tag{5}$$

식 (5)는 수렴한 보조필터의 계수를 주 필터에 더함으로써 주 필터의 오차신호가  $e_{aux}(n)$ 으로 줄어든다는 것을 보이고 있으며, 이것은 주 필터의 탭 계수가 변화된 반향경로에 근접했음을 의미한다.

한편 동시통화 구간의 중간에서는 보조필터가 탭 갱신을 계속 하더라도 근단화자 신호에 의해 수렴하지 못하고, 근단화자 신호가 사라지면 다시 수렴을 시작하여 마침내 수렴 상태에 도달하게 된다. 따라서 그림 6(b)처럼 동시통화 구간에서 보조필터가 수렴하면 근단화자 신호가 사라진 것으로 판단하고 수렴한 보조필터의 계수를 주 필터에 더해 빠르게 수렴상태에 도달하도록 한다. 결론적으로 보조필터는 동시통화 구간의 검출 오류



(a)



(b)

그림 5. 동시통화 구간의 검출 알고리즘 (a) 동시통화 구간의 시작점 검출 (b) 동시통화 구간의 끝점 검출

Fig. 5. Flowchart of the proposed DT detection algorithm (a) Starting-point detection of DT period (b) Endpoint detection of DT period.

를 줄일 뿐만 아니라 검출 오류 정정 시 좀 더 빨리 주 필터를 수렴상태에 도달할 수 있도록 한다. 보조필터는 변화된 반향경로를 추정하여 수렴여부를 판단하는 것이 주요한 목적이므로 일반적으로 주 필터의 탭 계수보다 적은 수를 사용한다. 또한 보조필터는 주 필터의 탭 갱신이 멈추어진 상태에서만 동작하므로 실시간 관점에서 전체 시스템의 최대 연산량은 증가하지 않는다.

#### IV. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 모의 실험을 수행하였다. 적응필터의 적응 알고리즘으로 NLMS 알고리즘을 사용하였고 적응상수 값으로 0.3을 사용하였다. 주 필터와 보조필터의 탭 수는 각각 256, 64으로 두었다. 동시통화 검출을 위해 사용되는 상관계수 문턱값은 0.5, 보조필터의 수렴을 판단하는 ERLE 문턱값은 10dB로 두었다.

그림 6과 7의 결과는 제안한 알고리즘이 그림 2와 3의 검출 오류 문제를 효율적으로 해결할 수 있음을 보이고 있다. 먼저 그림 6을 보면 (c)의 상관계수 값이 문턱값 0.5를 넘어서면서 보조필터가 적응을 시작하고 (d)의 ERLE 값이 증가하여 문턱값 10dB에 도달한다. 이것은 EPC를 DT로 잘못 판단한 경우를 의미하므로 수렴한 보조필터의 계수를 주 필터에 더하고 주 필터는 다시 적응을 시작한다. 따라서 상관계수 값은 줄어들고 주 필터는 다시 수렴 상태에 도달하게 된다. 그림 7은 동시통화 구간에서의 상관계수 값과 ERLE를 보이고 있는데 동시통화 구간에서는 보조필터가 탭 갱신을 하더라도 ERLE가 증가하지 않는다. 그러나 근단화자 신호가 사라지는 28,000샘플 후에는 ERLE 값이 빠른 속도로 증가하는 것을 볼 수가 있다. ERLE 문턱값이 10dB를 넘어서면 수렴으로 판단하고 마찬가지로 보조필터의 계수를 주 필터에 더한다. 결과적으로 상관계수 값이 급격히 떨어지고 동시통화 구간의 끝점을 쉽고 빠르게 찾을 수가 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 음향반향제거기에서 상관계수를 이용하여 동시통화 구간을 검출하는 알고리즘에서 문턱값 설정에 의한 검출 오류와 이로 인해 발생하는 문제점에 대하여 다루었다. 반향경로의 변화를 동시통화로 잘못 판단한 경우에는 적응필터의 탭 갱신이 멈추어져 더 이

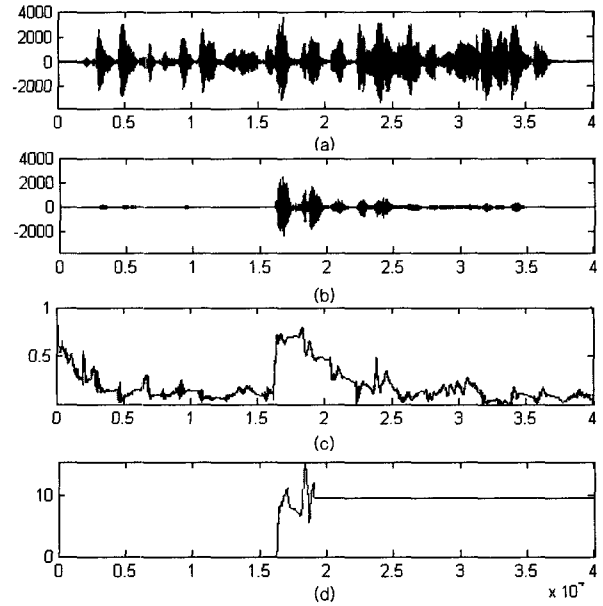


그림 6. 제안한 방법을 사용한 EPC 검출 (a) 반향 신호 (b) 오차 신호 (c) 원필터의 상관계수 (d) 보조필터의 ERLE

Fig. 6. Detection of EPC using the proposed method (a) Echo signal (b) Error signal (c) Correlation coefficient of the main filter (d) ERLE of the auxiliary filter.

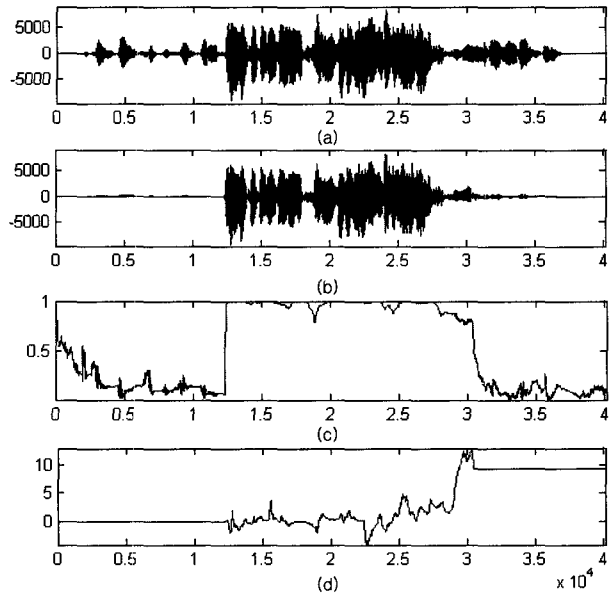


그림 7. 제안한 방법을 사용한 동시통화 구간의 끝점 검출(a) 반향 신호 (b) 오차 신호 (c) 원필터의 상관계수 (d) 보조필터의 ERLE

Fig. 7. End-point detection of DT period using the proposed method (a) Echo signal (b) Error signal (c) Correlation coefficient of the main filter (d) ERLE of the auxiliary filter.

상 수렴할 수 없는 상황에 빠지기도 하고, 동시통화중에 반향경로가 변하는 경우에는 동시통화 구간의 끝점

검출에 실패하기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 보조필터를 적용하여 동시통화 구간과 반향경로의 변화를 구분할 수 있는 동시통화 검출 시스템을 제안하였다. 실험을 통해 보조필터를 적용한 동시통화 검출 알고리즘이 동시통화 구간의 검출 오류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 수렴한 보조필터의 계수를 주 필터에 더함으로써 주 필터는 좀 더 빠르게 수렴할 수 있음을 확인하였다. 보조필터는 주 필터가 탭 갱신을 멈춘 상태에서만 동작하므로 제안한 알고리즘을 적용하더라도 실시간 관점에서 추가적인 연산량을 요구하지는 않는다

### 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.

### 저 자 소 개



김 시 호(정회원)  
1998년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업  
2001년 경북대학교 전자공학과  
석사 졸업  
현재 경북대학교 전자공학과  
박사과정

<주관심분야: 음성신호처리, 오디오/음성 코딩, 적응신호처리, 오디오 워터마킹, DSP>



배 건 성(정회원)  
1977년 서울대학교 전자공학과  
학사 졸업  
1979년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사 졸업  
1989년 University of Florida  
공학박사

현재 경북대학교 전자·전기공학과부 교수  
<주관심분야: 음성신호처리, 디지털신호처리, 디지털통신, 웨이브렛이론, 오디오신호처리 등>