

새로운 동시통화 검출 알고리즘

정흥희[†], 김현태^{**}, 박장식^{***}, 손경식^{****}

요 약

본 논문에서 반향 제거기의 반향 경로 변화를 추적하면서 근단 신호를 검출할 수 있는 새로운 동시통화 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 채널 입력 신호와 추정 오차 신호 간의 교차상관도와 마이크 입력 신호와 추정 오차 신호간의 정규화된 교차상관도를 이용한다. 이 두 교차상관도의 문턱치를 적절히 조합하여 이 알고리즘은 동시통화의 발생과 반향 경로의 변화를 구별한다. 이 방법은 반향경로의 변화를 추적하면서 동시통화를 검출할 수 있다. 동시통화기간동안 근단 신호에 의해 반향제거기의 적응필터계수가 오조정되는 것을 막는다. 이 동안 반향제거기는 반향경로의 변화를 계속 추적할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘이, 반향 경로 변화 추적과 동시통화를 검출하면서, ERLE 관점에서 Ye등의 알고리즘이나 NLMS 알고리즘보다 우수함이 입증되었다.

A New Double-Talk Detection Algorithm

Hong-Hee Jung[†], Hyun-Tae Kim^{**}, Jang-Sik Park^{***}, Kyung-Sik Son^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new double talk detection algorithm which detects near end signals with less degradation, tracking echo path variation of echo canceler simultaneously. Our method makes use of a cross-correlation between channel input signals and estimated error signals and a normalized cross-correlation between microphone input signals and estimated error signals. By combing thresholds for these cross-correlations pertinently, this algorithm discriminates between variation of echo path and occurrence of double talk. These two cross-correlation are used to detect double talk periods, tracking echo path variation. During the detection period, adjusting adaptive filter is ceased to prevent the echo canceler from being disturbed by near end signals. Also, the echo canceler will still be kept on for tracking any variation in echo path. Through computer simulation results, it was confirmed that the proposed algorithm shows better performance, tracking echo path variation and detecting the double talk periods, than the Ye et. al's and the NLMS algorithms from ERLE viewpoint.

Key words: Acoustic Echo Cancellation(음향 반향 제거), Double-Talk Detection(동시 통화 검출), Echo Path Changing(반향 경로 변화)

1. 서 론

편리하고 안정된 통화환경을 위해 송수기(hand-

set)를 사용하지 않는 핸드프리(hands-free) 통신이 많은 분야에서 사용되고 있다. 핸드프리 통신방식이 응용될 수 있는 분야로는 원격회의(teleconference)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김현태, 주소: 부산광역시 부산진구 가야동 산24(614-714), 전화: 051)890-1992, FAX: 051)890-1987, E-mail: htaekim@dcu.ac.kr

접수일: 2007년 7월 30일, 완료일: 2007년 12월 3일

[†] 부산대학교 전자공학과 석사

(E-mail: jojo610@lycos.co.kr)

^{**} 정회원, 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수

^{***} 정회원, 동의과학대학 디지털정보전자과 부교수
(E-mail: jsipark@dit.ac.kr)

^{****} 부산대학교 전자공학과 교수
(E-mail: ksson@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

시스템, 차량용 핸즈프리 전화기 등이 있다. 그러나 핸즈프리를 이용한 통신방식은 스피커로 출력된 음성신호가 일정한 음향경로(acoustic path)를 통과해서 마이크로 입력되는 음향반향(acoustic echo)이 생긴다[1]. 음향반향은 음성신호를 보낸 사람에게로 재전송되어 일정 시간이 지난 후 자신의 음성을 다시 듣기 때문에 통화의 장애나 불편을 느낀다. 이 문제점을 해결하기 위해서 일반적으로 적응 반향 제거기(adaptive echo canceller)가 많이 사용되고 있다[2,3].

적응 반향 제거기는 시간에 따라 변하지 않는다면 반향 경로를 추정하여 마이크 입력신호로부터 반향신호를 차감하여 제거한다. 그러나 문의 개폐나 사람들의 움직임에 따른 반향경로의 급격한 변화에 반향신호 제거능력이 현저히 저하된다. 특히 동시 통화가 발생한 경우에는 적응필터(adaptive filter)의 추정 오차신호(estimation error)에 근단화자(near-end speaker)의 신호가 포함되어 적응필터의 계수들이 크게 변동하며, 적응필터의 계수가 발산을 하는 경우도 있다[4]. 따라서 동시 통화가 일어나는 동안에 적응필터의 계수 조정을 중단시키기 위해 동시 통화 검출기가 사용되고 있다[5].

동시 통화 검출 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 원단화자의 신호와 레벨을 비교하는 방법이다 이 방법은 간단한 구조를 가지지만, 통계적으로 유사한 특징을 갖는 반향과 근단화자의 신호를 신호 크기에만 의존하기 때문에 이상적으로 반향과 근단화자의 신호를 구분할 수 없다, 또한 근단화자의 신호의 크기가 작은 경우 검출 성능이 저하된다[6,7].

다른 하나는 입력신호들간의 상관도(cross-correlation)을 이용하는 방법으로 상관도가 적절한 문턱치(threshold)보다 낮아지게 되면 근단화자의 신호가 입력되었다고 판단하여 적응 필터의 계수 조정을 중단하는 방법이다. 문턱치를 높게 선정할 경우에는 근단화자의 신호를 빠르게 검출 할 수 있다. 그러나 반향 경로가 변했을 경우 상관도가 문턱치보다 낮아질 수 있으므로 반향경로의 변화를 근단화자의 신호로 오인하는 경우가 발생한다. 반대로 문턱치를 낮게 선정하면 반향경로의 변화를 근단화자의 신호로 오인하는 경우를 줄일 수 있지만, 적응 필터 계수 오조정(misalignment)이 증가하게 되어 근단화자의 신호 검출 속도가 매우 느려지게 되는 단점이 있다[8].

Gänslar 등은 원단화자의 신호와 마이크 입력신호

간의 결함도(coherence)에 근거를 둔 알고리즘을 제안하였다[9]. 그러나 이 방법은 결함도를 충분히 정규화할 수 없다는 결함을 가지고 있다. 그 결과로 문턱치가 신호의 통계적 특징과 반향 경로의 특징에 크게 의존한다. 이에 고정된 문턱치를 이용하여 반향신호와 마이크 입력신호의 정규화된 상관도에 근거를 둔 동시 통화 검출 기법이 제안되었다[10]. 이 알고리즘이 대부분의 경우에 좋은 성능을 가지지만 잡음이 존재하는 경우 여전히 잘 동작하지 않는다[11,12].

그리고 최근에는 반향 경로 이득 값의 미분을 이용하여 동시 통화와 반향경로 변화를 구별하는 방법도 제안되었다[13].

본 논문에서는 동시 통화 상황과 반향경로의 변화를 구분할 수 있는 새로운 동시 통화 검출 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 적응필터의 추정 오차신호와 마이크 입력신호의 상관도 및 원단화자의 신호와 추정 오차신호의 상관도를 이용한다.

일반적으로 반향경로가 변할 때 마이크 입력신호와 추정 오차신호의 정규화된 상관도 및 원단화자의 신호와 추정 오차신호의 정규화된 상관도는 둘 다 높아진다. 그러나 동시 통화 시에는 마이크 입력신호와 추정 오차신호의 정규화된 상관도만 높아지고 원단화자의 신호와 추정 오차신호의 정규화된 상관도는 변화가 없다. 이러한 특징을 이용해서 앞서 언급한 두 상관도가 크면 반향경로가 변했다고 판단하여 적응을 계속하고, 그렇지 않는 경우에는 동시 통화가 일어났다고 보고 적응을 중단한다.

2. 직교원리에 의한 동시통화 검출

반향경로가 변하지 않고 고정되어 있다면 반향경로의 임펄스 응답(impulse response)을 측정하여 고정된 필터로 반향을 제거할 수 있지만 문의 개폐나 사람의 움직임 등에 의해서 반향경로가 변한다. 그래서 반향경로의 변화를 추정하는 적응필터를 이용한 음향 반향 제거기가 연구 개발되고 있다. 적응필터를 이용한 음향 반향 제거기의 기본적인 구조는 그림 1과 같다.

기존의 동시통화 알고리즘으로는 Ye 등 [5]에 의해서 제안된 직교성질을 이용한 동시통화 검출기가 있으며 다음과 같이 요약된다.

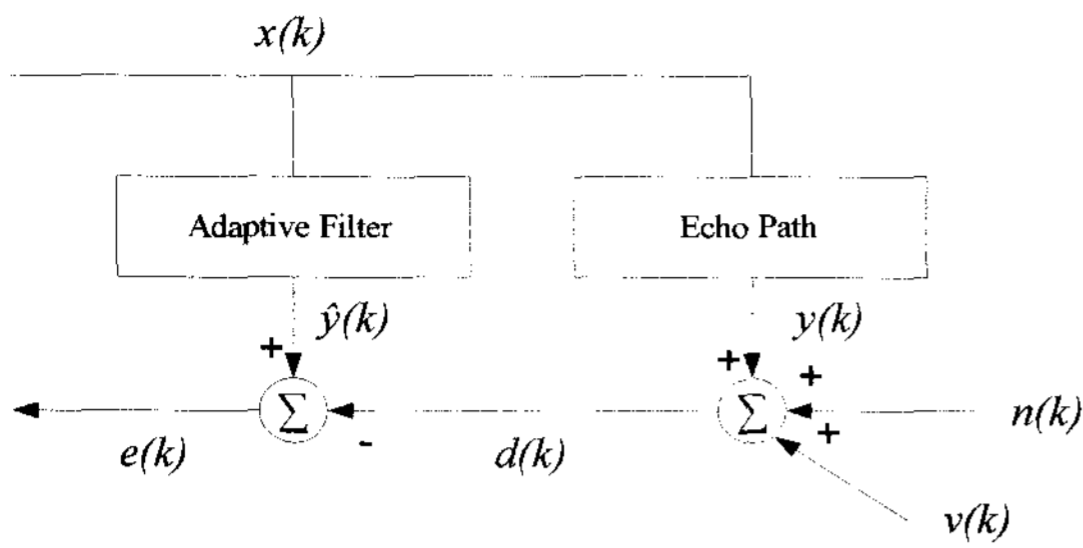


그림 1. 적응 필터를 이용한 음향 반향 제거기

시간 k 에서 적응필터가 최적치에 수렴한 경우 원단화자의 신호와 추정 오차신호 간에는 다음과 같은 직교성질이 만족된다.

$$E[e(k)X(k)] = 0 \quad (1)$$

여기서 $X(k)$ 는 M 개의 원소를 갖는 원단화자의 신호 벡터로 근단화자의 신호가 발생하는 경우 적응필터의 마이크 입력신호는 급격히 커지게 된다. 그러나 근단화자의 신호는 원단화자의 신호와 상관도가 없는 신호이므로 직교성질이 계속 만족된다. 반면, 반향경로가 변한 경우에는 식 (1)의 직교성질이 더 이상 만족되지 않는다. 그러나 이 경우는 원단화자의 신호와 추정 오차신호간의 상관도는 반향경로가 변한 경우에는 매우 민감하게 변화하며 동시통화 상황에서는 변화를 보이지 않는 것과 대별된다. 그러므로 통화상황에 따른 상관도의 변화는 다음과 같이 분류된다. 즉, 적응필터가 처음 수렴하는 경우와 반향경로가 변하는 경우에는 문턱치보다 높은 값을 갖고 수렴 후 정상상태에서는 근단화자의 신호의 존재 유무에 관계없이 낮은 값을 갖는다. 이 방법은 다음과 같이 평균상관도(Average Cross Correlation: ACC)를 사용하여 작동된다.

$$ACC(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} |C_i(k)| \quad (2)$$

$$P_e^2(k) = \lambda P_e^2(k-1) + (1-\lambda)e^2(k) \quad (3)$$

$$P_i^2(k) = \lambda P_i^2(k-1) + (1-\lambda)x^2(k-i) \quad (4)$$

$$P_{e,i}(k) = \lambda P_{e,i}(k-1) + (1-\lambda)e(k)x(k-i) \quad (5)$$

$$C_i(k) = \frac{P_{e,i}(k)}{P_e(k) \times P_i(k)}, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

여기서 λ 는 망각인자(forgetting factor)로써 정확도와 시변신호에 대한 추적능력을 좌우한다. $ACC(k)$ 값은 k 가 커짐에 따라 0에 수렴하게 되므로 정해놓은 문턱치보다 낮은 경우에는 반향제거기가 수렴상태에 도달하였다고 판단하여 근단화자의 신호에 의해 반향제거기의 필터계수가 발산하는 것을 방지하기 위해 적응을 멈춘다. $ACC(k)$ 가 문턱치보다 큰 경우에는 수렴이 덜 되었거나 반향경로가 변하는 경우로 판단하여 계속 적응을 수행한다. 문턱치는 일반적으로 $ACC(k)$ 의 정상상태 값보다 조금 큰 값을 선택한다.

그러나 Ye 등이 제안한 알고리즘은 모든 신호가 백색 Gaussian 잡음인 경우는 잘 동작하였다. 그러나 모든 신호가 음성인 경우는 문턱치를 결정하는 문제가 매우 어려워진다. 즉, 너무 높은 문턱치를 사용하는 경우 적응필터가 수렴이 충분히 되지 않는 상태에서 적응을 멈추어 버리기 때문에 충분한 반향제거율을 얻기 힘든 반면, 너무 낮은 문턱치를 사용하면 주변 잡음신호이나 근단화자의 신호에 의해 순간적으로 발생하는 추정 오차에 의해 잘못된 결정을 내리게 되는 문제점을 가진다.

3. 마이크 입력신호와 추정오차에 의한 상관도 추정

마이크 입력신호로 정규화된 추정 오차신호와 마이크 입력신호간의 상관도는 Park's 등 [14]이 제안하였고 다음과 같이 요약한다. $\rho(k)$ 는 $d(k) = y(k) + n(k)$ 을 이용하여 식 (7)과 같이 표시할 수 있다.

$$\rho(k) = \frac{E[e(k)d(k)]}{E[d^2(k)]} = \frac{E[e(k)y(k)] + E[e(k)n(k)]}{E[d^2(k)]} \quad (7)$$

그리고, 반향신호 $y(k)$ 와 주변 잡음신호 $n(k)$ 가 서로 상관성이 없기 때문에 $E[y(k)n(k)] = 0$ 이다.

적응필터가 수렴하지 않은 경우 식 (7)은 식 (8)과 같이 간단하게 표시할 수 있다.

$$\rho(k) = \frac{E[y^2(k) - \hat{y}(k)y(k)] + E[n^2(k)]}{E[y^2(k)] + E[n^2(k)]} \quad (8)$$

적응필터가 충분히 적응하기 전의 수렴초기에는 반향신호와 적응필터의 출력신호의 상관도는 낮다. 따라서 근단화자의 신호를 포함한 주변 잡음 신호의

유무에 상관없이 $\rho(k)$ 는 1에 가까운 값이 된다. 그리고 적응필터가 음향 반향 경로를 추정해감에 따라 $\hat{y}(k)$ 는 $y(k)$ 에 가까워져서 $\rho(k)$ 는 주변 잡음신호의 전력에 의존하게 된다.

적응필터가 음향 반향 경로를 거의 추정할 정도로 수렴한 경우, 적응 필터의 출력 $\hat{y}(k)$ 는 음향 반향 $y(k)$ 을 추정한다. 따라서 식 (8)은

$$\rho(k) = \frac{E[n^2(k)]}{E[y^2(k)] + E[n^2(k)]} \quad (9)$$

이 된다. 식 (9)의 우변을 보면 $n(k)$ 가 원단화자의 신호이고 $y(k)$ 가 잡음인 경우에 대한 Wiener 필터와 같다. 따라서 반향신호가 근단화자의 신호보다 크면 $\rho(k)$ 값은 낮아지고 근단화자의 신호가 반향신호보다 크면 $\rho(k)$ 는 거의 1이 된다. 적응필터의 직교원리를 이용하여 $\rho(k)$ 의 변화에 대해서 분석하는 결과와 같다. $d(k) = y(k) + n(k) = W_o^T(k)X(k) + n(k)$ 을 식 (7)에 대입하여 간단히 하면 식 (10)이 된다.

$$\rho(k) = \frac{E[e(k)n(k)]}{E[y^2(k)] + E[n^2(k)]} \quad (10)$$

이 되고, 주변 잡음 신호가 음향 반향신호와 반향 추정 신호와 상관도가 없다는 가정을 적용하여 다시 정리하면 식 (10)은 식 (9)와 같아진다.

$\rho(k)$ 는 식 (11)~(13)와 같이 근사적으로 구한다.

$$P_d(k) = \lambda P_d(k-1) + (1-\lambda)d^2(k) \quad (11)$$

$$P_{e,d}(k) = \lambda P_{e,d}(k-1) + (1-\lambda)e(k)d(k) \quad (12)$$

$$\rho(k) = \frac{P_{e,d}(k)}{P_d(k)} \quad (13)$$

이때 λ 는 양수로서 1에 가깝지만 1보다 작은 값으로 일반적으로는 $0.9 < \lambda \leq 1$ 사이의 값을 갖는다.

NLMS 알고리즘과 같이 주변잡음에 의해서 계수 오조정이 심한 알고리즘은 적응 필터의 출력이 반향 신호를 제대로 추정하지 못하기 때문에 잔여 반향이 많이 생길 뿐만 아니라 전송되어야 할 근단화자의 신호가 왜곡된다. 그래서 근단화자의 음성 신호를 왜곡시키지 않기 위해 앞에서 설명한 $\rho(k)$ 의 변화를 이용한 동시통화 검출알고리즘을 제안한다.

4. 제안하는 알고리즘

2장에서 설명한 기존의 동시통화 검출알고리즘은 원단화자의 신호와 추정 오차신호간의 상관도를 이용한다. 동시통화 상황에서 $ACC(k)$ 의 문턱치보다 낮은 값을 가지고, 반향경로가 변하는 경우에는 $ACC(k)$ 의 문턱치보다 높은 값을 가진다는 사실을 이용하는 것이다. 문턱치의 변화로 동시통화와 반향경로의 변화를 구분해 낼 수 있지만 반향제거기의 운용 방식에 문제점이 있다. 즉, 적응필터의 계수가 수렴된 후에는 적응필터의 계수를 적응시키지 않고 반향경로가 변하는 경우에만 적응을 수행한다. 그러나 음향반향의 경우에는 회의 참석자의 머리카락 등의 신체부위가 움직이거나 주변환경의 변화가 자주 일어나므로 수렴 후에도 계속 적응을 하여야 한다.

본 논문에서는 동시통화를 빠르게 검출할 수 있고 동시에 반향경로 변화와 동시통화인 경우를 정확히 구별하여 동시통화 시에는 적응필터의 적응을 중단하고 반향경로의 변화에서는 적응을 할 수 있는 새로운 동시통화 검출 알고리즘을 제안한다.

제안하는 알고리즘은 2장, 3장에서 설명한 추정 오차신호와 원단화자의 신호의 상관도와 추정 오차신호와 마이크 입력신호의 상관도를 이용하여 반향경로가 변하는 경우와 동시통화인 경우를 구분한다.

적응필터가 수렴했을 때 반향경로가 변하는 경우와 근단화자의 신호가 발생한 경우에 두 상관도에서 각각 다른 특성이 나타난다. 반향경로가 변하는 경우에는 적응필터에 의해서 추정 가능한 반향 성분이 제거되었기 때문에 추정 오차신호는 원단화자의 신호에 가까워져 마이크 입력신호간의 상관도와 원단화자의 상관도는 높아진다. 또한 근단화자의 신호가 있을 경우에는 추정 오차신호에는 근단화자의 신호가 대부분을 차지함으로써 마이크 입력신호간의 상관도는 1에 가까워지고 원단화자의 신호간의 상관도는 아무런 변화가 없다. 근단화자의 신호를 왜곡 없이 검출하고 반향경로가 변하는 경우에는 NLMS 알고리즘과 같이 동작하여 반향신호를 제거하기 위해서는 적절한 문턱치를 사용해야 한다.

식 (2)~(6)과 식 (11)~(13)을 이용하여 반향경로의 변하는 경우와 동시통화 발생한 경우를 구분하여 동시통화 검출 알고리즘을 제안한다.

$ACC(k)$ 와 $\rho(k)$ 의 적절한 문턱치를 결정하는 일은

매우 어렵다. 너무 낮은 문턱치를 사용하면 반향신호는 제거될 수 있지만, 동시통화가 발생한 경우와 반향경로가 변하는 경우를 구별하기 어렵다. 그러나 너무 높은 문턱치를 사용하면 동시통화가 발생한 경우와 반향경로가 변하는 경우를 구별할 수 있지만, 반향신호가 많이 남게 되는 경우가 발생하게 된다. 그래서 제안하는 동시통화 검출 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) $ACC(k) > A_{th}$ 및 $\rho(k) > B_{th}$: 적응필터의 초기상태이거나 반향경로가 변했다고 판단하여 적응필터의 계수를 적응시킨다.
- 2) $ACC(k) > A_{th}$ 및 $\rho(k) < B_{th}$: 반향경로가 변했다고 판단하여 적응필터의 계수를 계속 적응시킨다.
- 3) $ACC(k) \leq A_{th}$ 및 $\rho(k) \geq B_{th}$: 근단화자의 신호가 입력되었다고 판단하여 적응필터의 적응을 멈춘다.
- 4) $ACC(k) < A_{th}$ 및 $\rho(k) < B_{th}$: 적응필터가 충분히 수렴한 상태이다. 이 경우에도 적응필터의 수렴은 계속된다.

5. 컴퓨터 시뮬레이션 및 검토

2장에서 설명한 Ye 등이 제안한 알고리즘 성능과 제안된 동시통화 검출기의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

적응필터를 이용한 음향 반향 제거기는 계산량이 적고 비교적 성능이 좋은 NLMS 알고리즘을 사용하였다.

그림 2는 반향을 일으키는 경로에 대한 임펄스 응답이다. 소규모의 사무실을 대상으로 하였으며 적응필터의 계수를 240차로 지정하고, $\mu=0.125$, $\lambda=0.998$

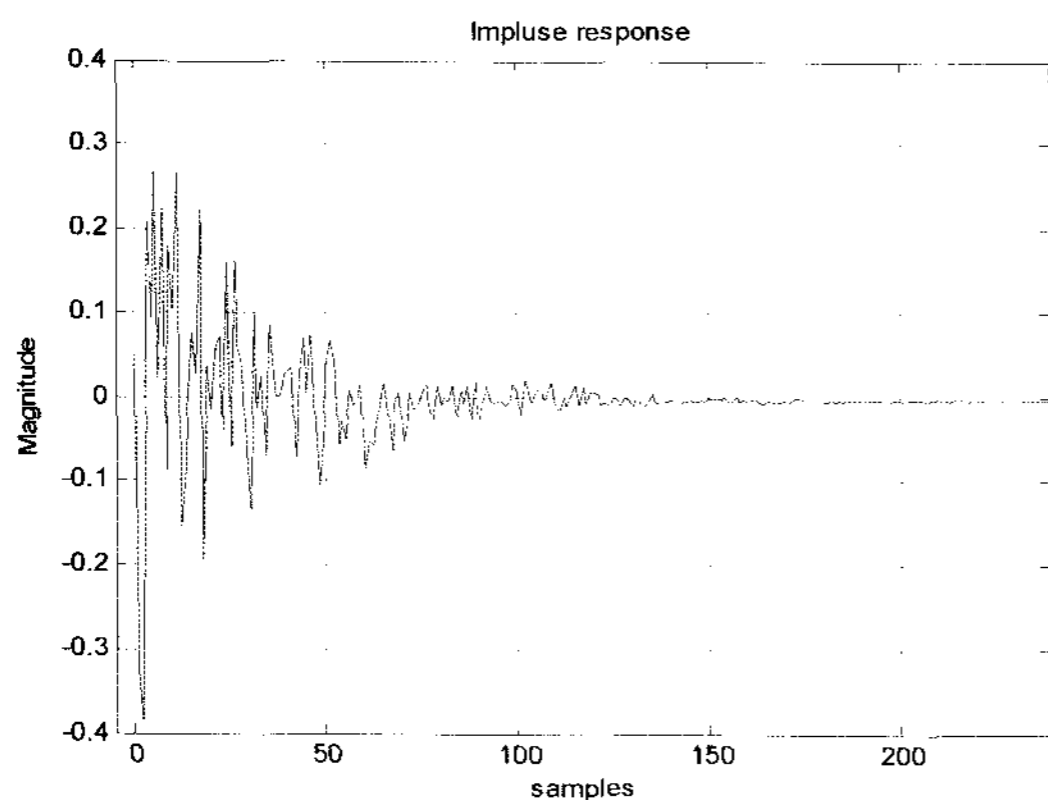


그림 2. 반향경로의 임펄스 응답

로 두고 적응시킨다. 그림1에서,

$$e(k) = (y(k) + n(k) + v(k)) - W^T(k)X(k) \tag{14}$$

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\mu}{X^T(k)X(k)} e(k)X(k) \tag{15}$$

여기서 $W(k)$ 는 시간 k 에서 반향 제거기의 적응필터 계수 벡터를 나타내며, 주변 잡음신호 $n(k)$ 는 백색 Gaussian 잡음신호로서 원단화자의 신호 대 잡음비가 -40dB 및 -30dB인 두 경우에 대하여 실험했다.

8kHz로 샘플링하고 16비트로 양자화된 원단화자의 신호 $x(k)$ 는 ‘안녕하십니까 영상정보처리 과입니다’라는 음성신호이고 근단화자의 신호 $v(k)$ 는 ‘청와대’라는 음성신호를 사용하였다.

성능평가는 잔여 반향신호와 음향 반향 제거 성능 평가에 일반적으로 사용되는 ERLE(echo return loss enhancement)를 이용하여 비교한다. ERLE는 식 (16) 다음과 같다.

$$ERLE(k) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=0}^{L-1} d^2(n-i)}{\sum_{i=0}^{L-1} (d(n-i) - \hat{y}(n-i))^2} \tag{16}$$

음질의 평가 기준으로 활용되는 SNR(signal to noise ratio)과 같은 의미이며 ERLE가 크면 클수록 반향 제거 성능이 우수하다. 그리고 근단화자의 신호가 발생한 경우에는 0dB에 가까우면 가까울수록 왜곡이 생기지 않았다고 볼 수 있다.

제안한 동시통화 검출 알고리즘은 많은 시뮬레이션으로, $ACC(k)$ 의 문턱치 A_{th} 및 $\rho(k)$ 의 문턱치 B_{th} 를 다음과 같이 설정하였다.

$ACC(k)$ 의 문턱치 A_{th} 가 0.1보다 크고 $\rho(k)$ 의 문턱치 B_{th} 가 0.3보다 크면 적응초기이거나, 반향경로가 변했다고 판단하여 적응필터의 계수를 계속 적응시킨다. $ACC(k)$ 의 문턱치가 0.1보다 크고 $\rho(k)$ 의 문턱치가 0.3보다 작으면 반향경로가 변했다고 판단하여 적응필터의 계수를 적응시킨다. $ACC(k)$ 의 문턱치가 0.1보다 작고 $\rho(k)$ 의 문턱치가 0.3보다 크면 근단화자의 신호가 입력되었다고 판단하여 적응을 멈춘다. 마지막으로 $ACC(k)$ 의 문턱치가 0.1보다 작고 $\rho(k)$ 의 문턱치가 0.3보다 작으면 적응필터가 수렴했다고 판단한다.

5.1 동시통화가 발생한 경우

그림 3에서 그림 7은 근단화자의 신호가 있는 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 3(a)는 원단화자의 신호이고 그림 3(b)는 마이크 입력신호로 주변 잡음신호가 -40dB인 반향신호에 약 48000 샘플에서 54000 샘플 사이에 근단화자의 신호를 넣었다.

그림 4(a)는 주변 잡음신호가 -40dB인 경우이고 그림 4(b)는 -30dB의 경우에 대한 각각의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$ 를 나타낸다. 그림 4(a) 및 (b)에서 적응필터의 수렴초기에는 반향신호와 적응필터의 출력신호가 낮은 상관도를 가진다. 따라서 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$ 는 거의 1의 값을 가진다. 적응필터가 충분히 수렴하기 전인 약 5000샘플지점부터 두 상관도는 낮아진다.

Ye 등이 제안한 알고리즘은 이 시점부터 적응을 멈추어 버려 충분히 반향신호제거를 달성할 수 없다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 이 경우에도 계속 적응을 시킨다. 약 48000 샘플에서 54000 샘플 사이에 근단화자의 신호가 발생했을 때 두 상관도를 비교해 보면 $ACC(k)$ 는 반향신호가 거의 제거되었기 때문에 식 (1)을 만족하여 변화가 없다. $\rho(k)$ 는 추정 오차신호에 근단화자의 신호가 대부분을 차지하므로 약 48000샘플지점에서 0.3보다 높아진다. 발생한 후에는 적응필터가 크게 오조정이 되어 약 20000샘플구간 정도 $ACC(k)$ 가 0.1보다 높아진다. 그림 4 (a)와 (b)를 비교해 보면 주변 잡음신호에 따라 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$ 가 약간 변화했다.

그림 5은 추정 오차신호를 비교한다. 그림 5(a)는 NLMS 알고리즘의 결과이다. 적응필터의 수렴초기

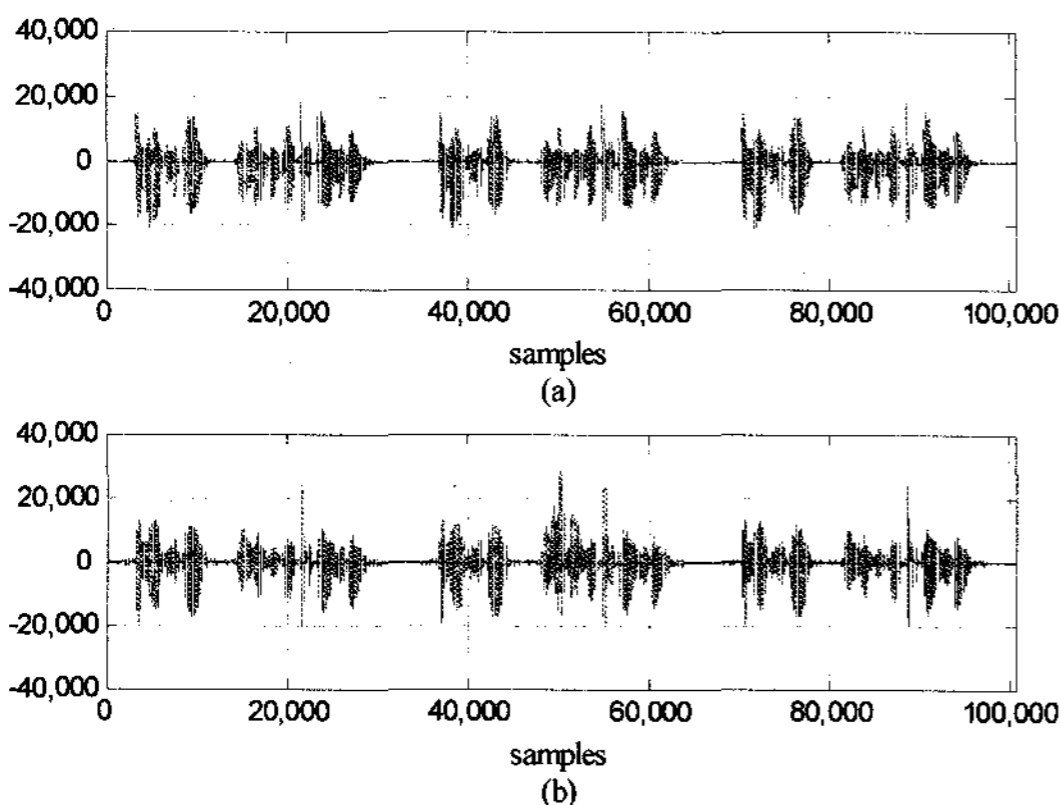


그림 3. 동시통화가 발생한 경우. (a) 원단화자의 신호, (b) 마이크 입력신호

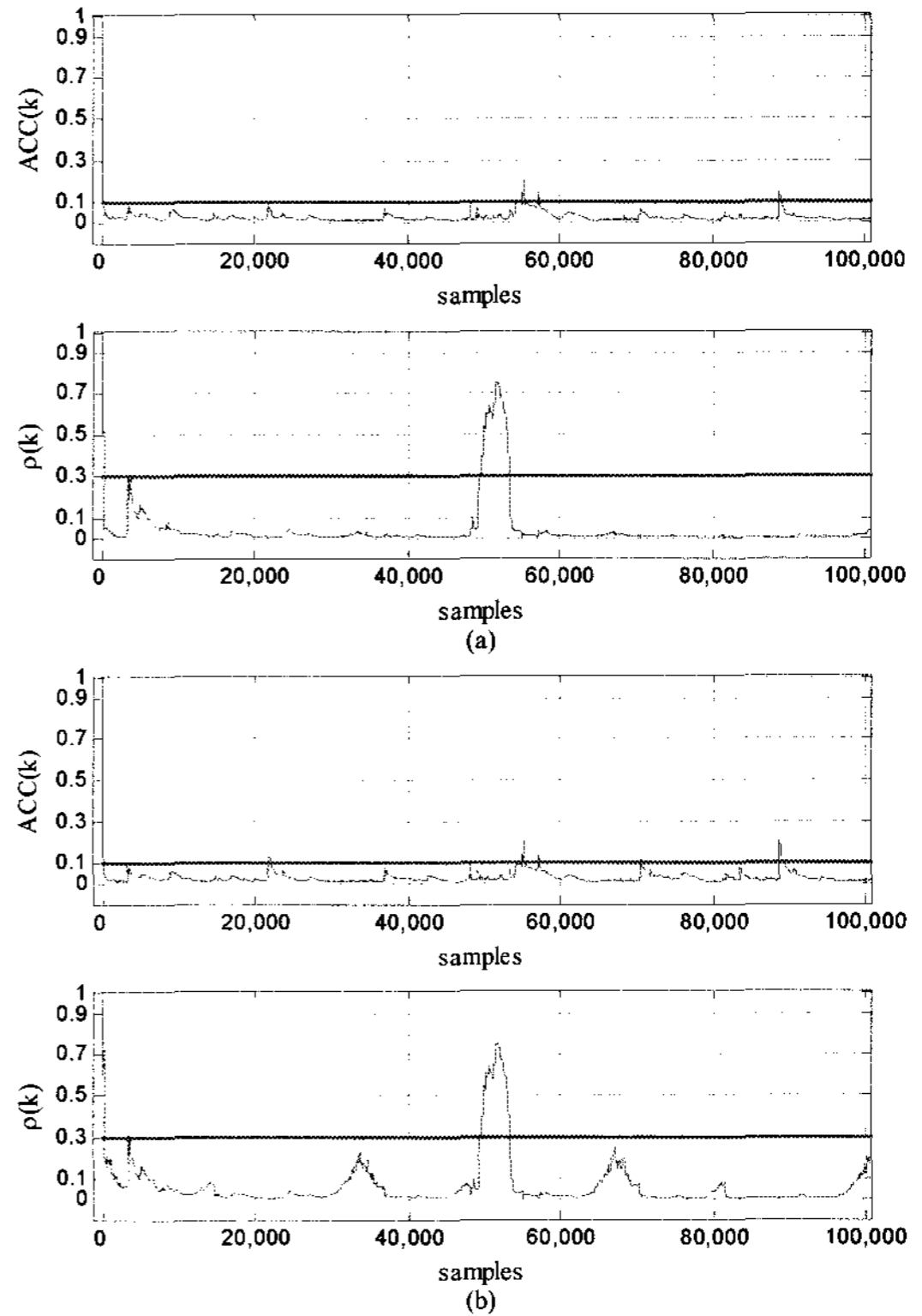


그림 4. 상관도 분석. (a) -40dB 주변 잡음신호의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$, (b) -30dB 주변 잡음신호의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$

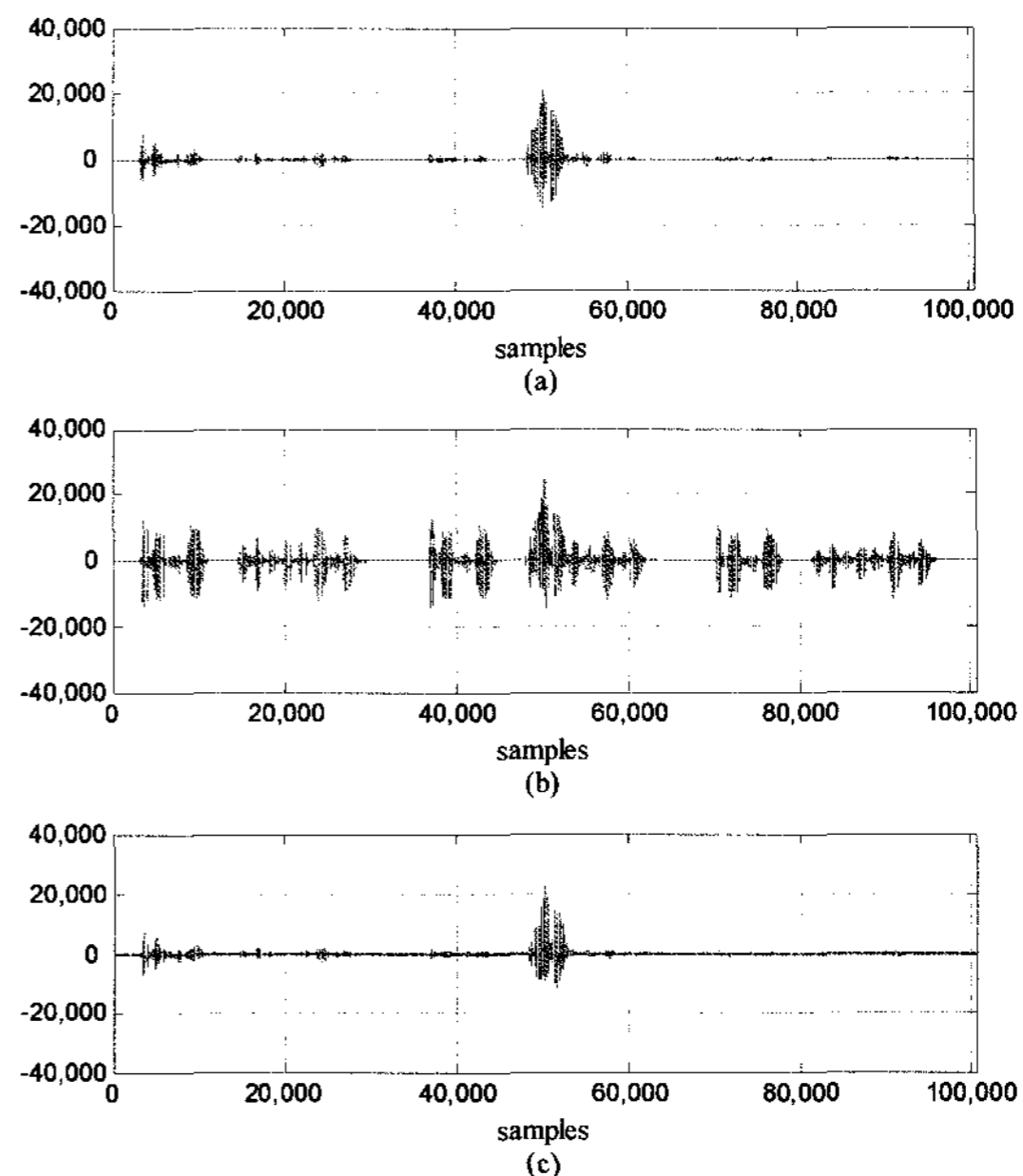


그림 5. 근단화자의 음성신호가 있을 때 시뮬레이션 결과. (a) NLMS 결과, (b) Ye의 방법, (c) 제안하는 방법

에는 반향신호가 많이 나타나지만 시간이 지남에 따라 많이 제거된다. 그림 5(b)는 그림 4(a)의 $ACC(k)$ 를 이용한 Ye 등이 제안한 알고리즘의 결과이다. Ye 등이 시뮬레이션으로 보였듯이 $ACC(k)$ 의 문턱치를 0.1로 설정하고 시스템내의 모든 신호가 백색 Gaussian 잡음인 경우는 잘 동작하였다. 그러나 모든 신호가 음성인 경우 적응필터가 수렴이 충분히 되지 않는 상태인 약 500샘플지점에서 적응을 멈추었기 때문에 반향신호가 거의 전혀 제거되지 않았다.

그림 5(c)는 그림 4(a)의 두 상관도를 이용한 제안하는 알고리즘의 시뮬레이션 결과이다. 근단화자가 발생하는 구간이전에는 NLMS 알고리즘에 의한 그림 5(a)와 제안한 알고리즘에 의한 그림 5(c)는 똑같이 반향신호를 제거한다. 약 48000샘플 시점에서 그림 4(a)의 $ACC(k)$ 는 변화가 없지만 $\rho(k)$ 는 0.3보다 높아져 제안한 알고리즘은 적응을 중단한다. 그림 5(c)에서 약 54000샘플 이후에는 NLMS 알고리즘을 적용한 그림 5(a)에 비해 반향신호가 더 많이 제거된다.

시스템내의 모든 신호가 백색 Gaussian 신호인 경우는 Ye 등이 주장한 대로, 그들이 제안한 알고리즘은 잘 동작하였다. 하지만 시스템내의 모든 신호가 음성신호인 경우는 성능이 현저히 저하된다. Ye 등이 제안한 알고리즘은 $ACC(k)$ 가 0.1보다 높으면 적응필터를 적응하고 0.1보다 낮으면 적응필터를 중단한다. NLMS 알고리즘과 제안하는 알고리즘은 계속 적응하면서 반향경로를 찾지만 Ye 등이 제안한 알고리즘은 그림 4(a)의 $ACC(k)$ 가 0.1보다 낮아지는 시점인 약 500샘플에서 중단하여 전혀 수렴하지 못한다. 그러나, NLMS 알고리즘만으로 시스템을 동작시켰을 때는 근단화자의 신호가 적용되면 적응필터가 발산할 수도 있다. 근단화자의 신호가 발생한 경우(약 54000샘플 시점), 제안하는 알고리즘과 Ye 등이 제안한 알고리즘은 적응필터를 중단하여 계수 발산을 막는다. 그러나, NLMS 알고리즘은 적응필터의 계수를 크게 오조정하고 있음을 그림 6을 통해 볼 수 있다.

그림 7은 반향 제거 결과를 ERLE로 비교한 그림이다. ERLE는 추정 오차신호에 대한 마이크 입력신호의 비율이므로 크면 클수록 반향 제거 성능이 좋다. 그러나 근단화자의 신호가 있는 구간에서는 거의 0dB가 되는 것이 손상이 없는 경우라고 할 수 있다. 그림 7(a)는 전체적인 ERLE이며 근단화자가 적용되기 이전에는 제안하는 알고리즘과 NLMS 알고리즘

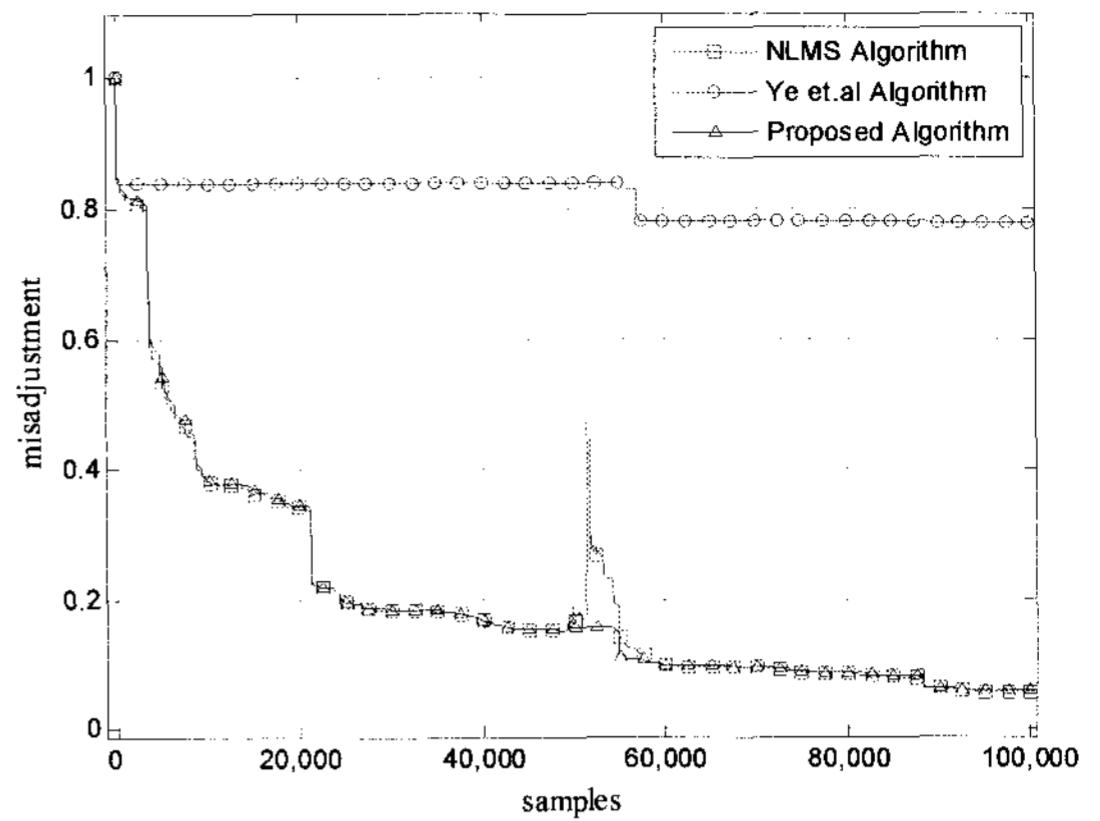


그림 6. 적응필터의 계수 오조정

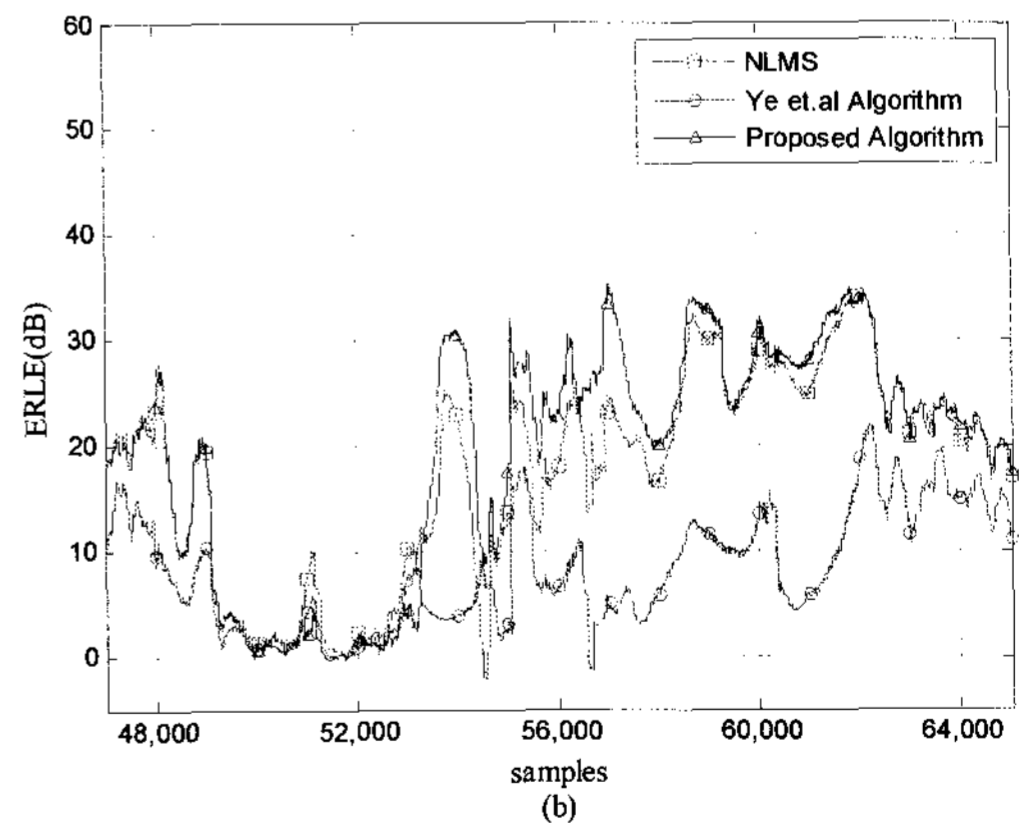
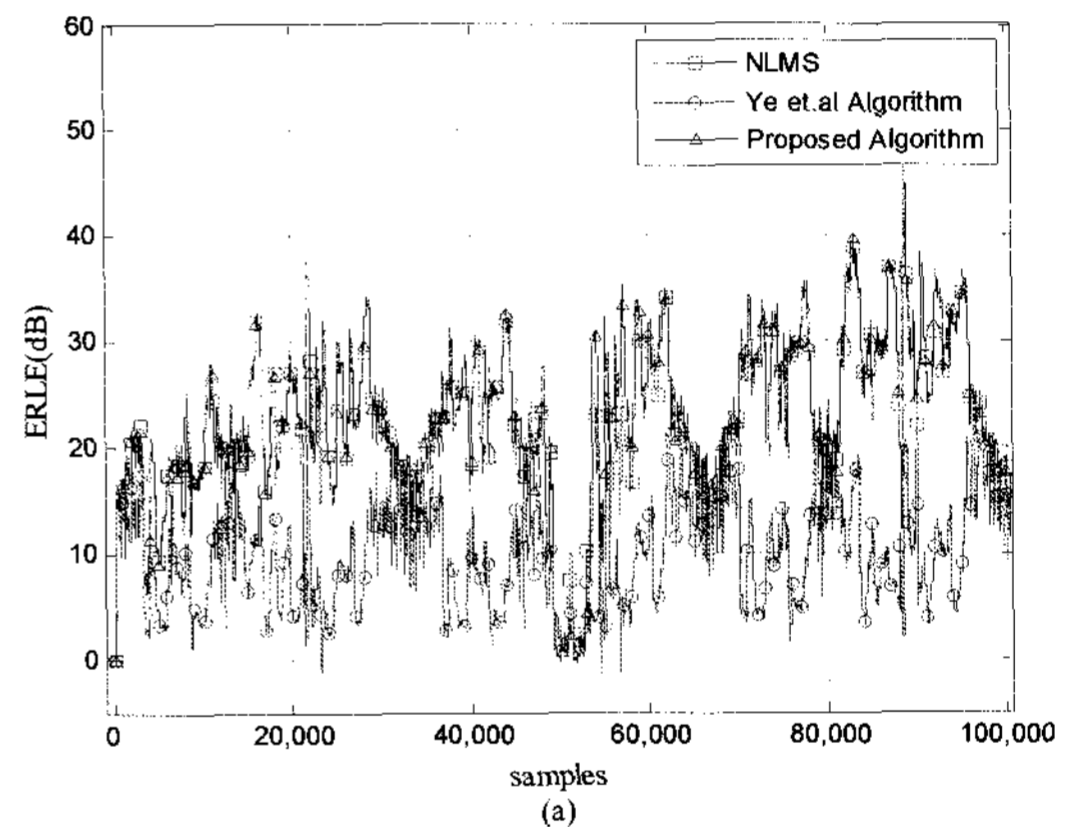


그림 7. 근단화자의 음성신호가 있을 때 ERLE 비교. (a) 전체적인 ERLE, (b) 근단화자의 신호가 있는 구간 ERLE

은 거의 같은 ERLE를 가진다. 그러나 Ye 등이 제안한 알고리즘은 5dB에서 20dB 사이에 있어 기존 두 알고리즘에 비해 반향신호가 거의 제거되지 않았다. 그림 7(b)는 근단화자의 신호가 있는 구간과 그 이후

구간에 대한 ERLE이다. 약 48000샘플에서 54000샘플 사이는 근단화자의 신호가 발생한 구간이다. Ye 등이 제안한 알고리즘과 제안하는 알고리즘이 0dB에 가깝지만 NLMS 알고리즘은 10dB까지 높아져 근단화자의 신호가 손상된 것을 볼 수 있다. Ye 등이 제안한 알고리즘과 NLMS 알고리즘은 적응필터의 계수 오조정에 의해 0dB보다 낮아지거나 제안하는 알고리즘보다 ERLE가 낮다. 근단화자의 신호가 발생한 후, 제안하는 알고리즘은 Ye 등이 제안한 알고리즘이나 NLMS 알고리즘보다 높은 ERLE를 가져 기존의 알고리즘들보다 높은 반향제거성을 보여준다.

5.2 반향경로가 변하는 경우

그림 8에서 그림 13은 반향경로가 변하는 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 반향경로가 변하는 지점은 55000샘플 근처이다. 그림 8(a)는 원단화자의 신호이고 그림 8(b)는 마이크 입력신호로 임펄스 응답에 평균이 0이고 분산이 0.005인 백색 Gaussian 잡음을 넣었으며 주변 잡음신호는 -40dB로 시뮬레이션했다.

그림 9는 주변 잡음신호가 -40dB인 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$ 를 나타낸다. 적응필터가 수렴한 후에 반향경로를 변화시켰다. 그림 9(a)의 $ACC(k)$ 는 반향경로가 변한 지점으로부터 약 55000샘플에서 약 55500샘플까지 0.1보다 높게 나타났고 $\rho(k)$ 는 변화하지만 0.3보다 낮게 나타난다. 이러한 특징을 이용하여 근단화자의 신호가 발생했을 경우와 반향경로가 변하는 경우를 구분한다.

그림 10은 추정 오차신호의 결과이다. 근단화자의

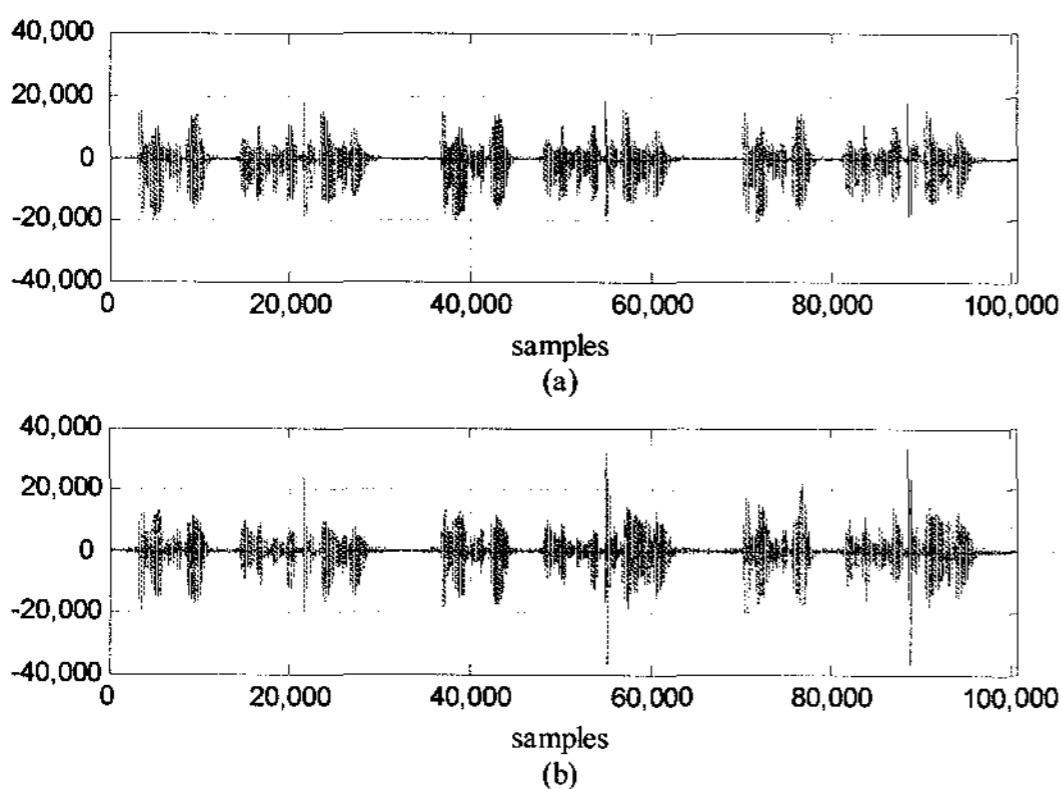


그림 8. 반향경로가 변하는 경우. (a) 원단화자의 신호 (b) 마이크 입력 신호

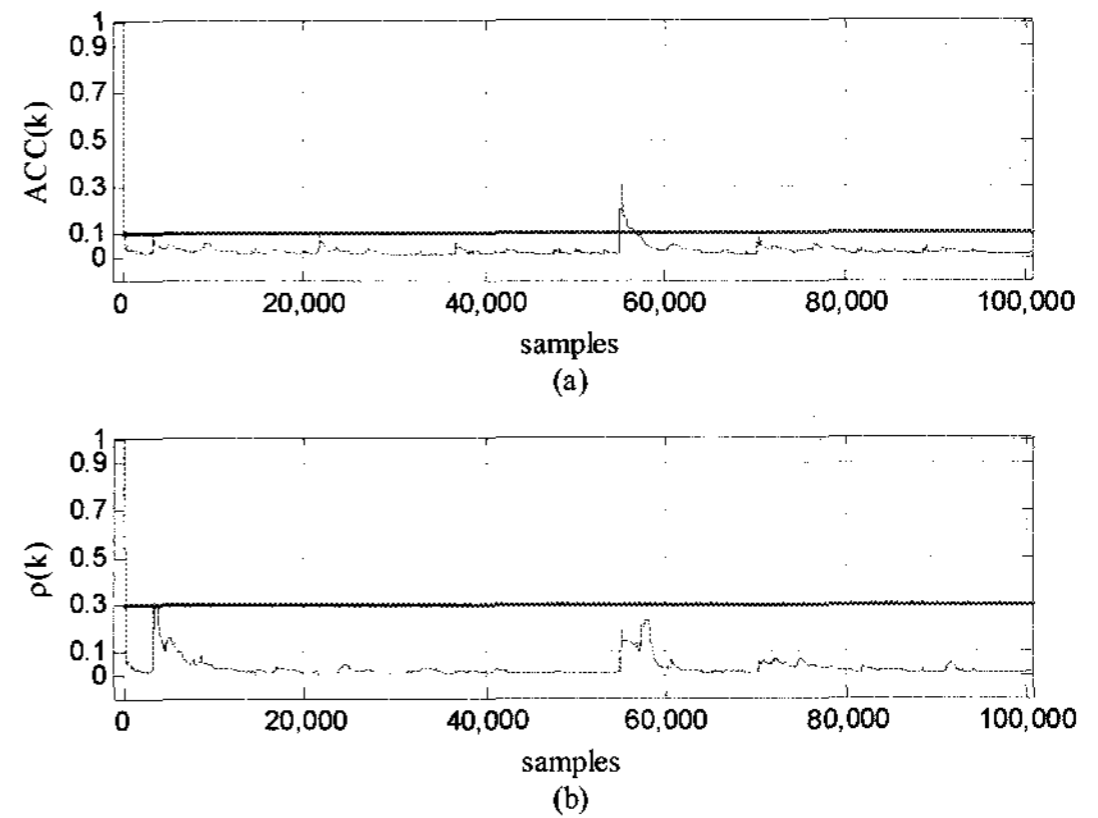


그림 9. -40dB 주변 잡음신호의 상관도. (a) $ACC(k)$ (b) $\rho(k)$

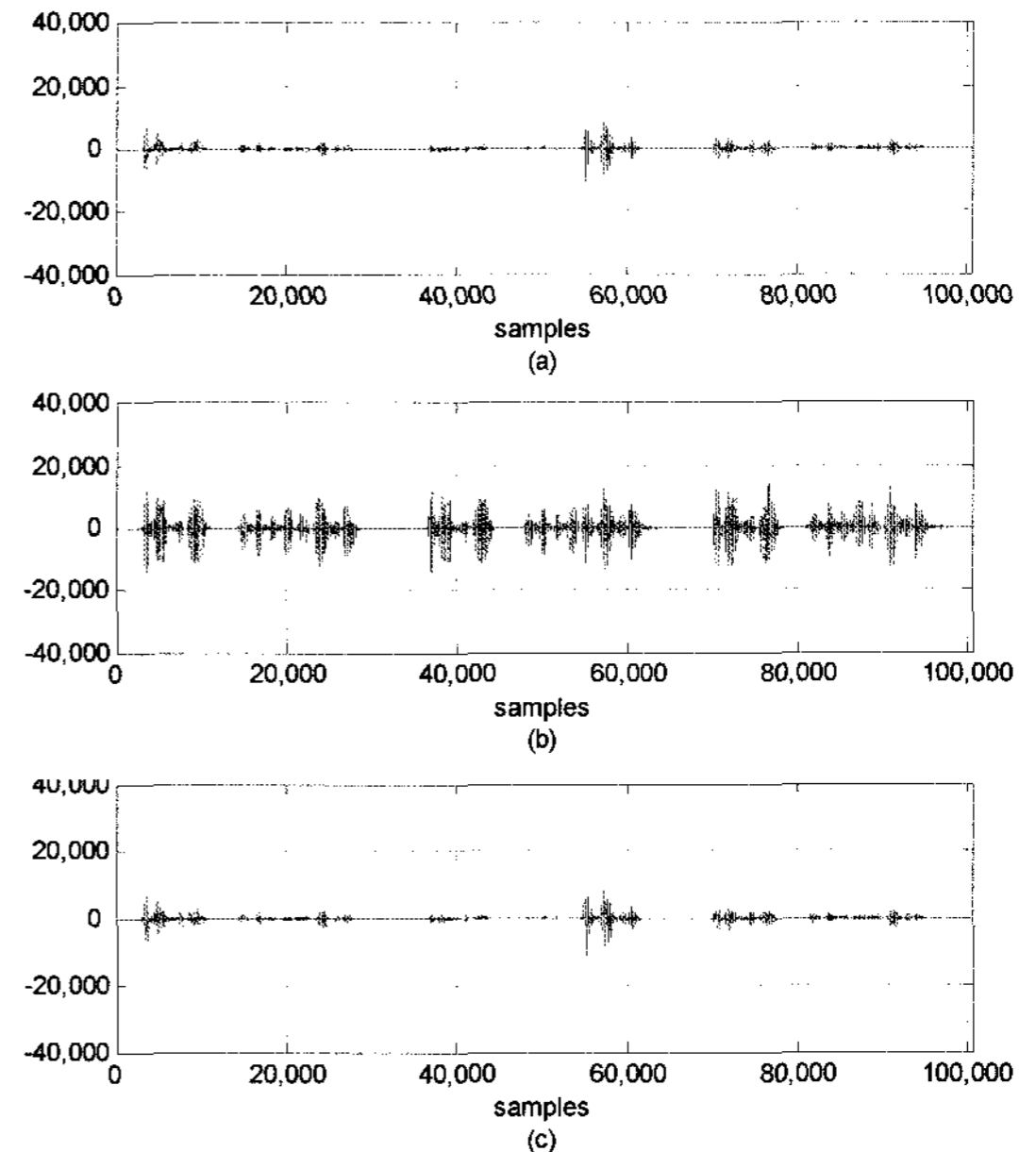


그림 10. 반향경로가 변할 때 시뮬레이션 결과. (a) NLMS 결과, (b) Ye의 방법, (c) 제안하는 방법

신호가 발생한 경우에는 $ACC(k)$ 는 식 (1)을 만족하여 변화하지 않지만 반향경로가 변하는 경우에는 문턱치보다 높아진다. Ye 등이 제안한 알고리즘은 이러한 변화에 따라 적응필터를 동작하거나 중단한다. 그림 10(b)는 Ye 등이 제안한 알고리즘이다. 반향경로가 변한 시점 55000샘플에서 적응필터가 적응하였지만 약 500샘플 정도 밖에 동작하지 않아 반향성분이 거의 제거 되지 않았다. 그림 10(a)는 NLMS 알고리즘에 의한 결과이고 그림 10(c)는 제안하는 알고리즘

의 결과이다. 그림 10(a) 및 (b)는 거의 같은 성능으로 반향신호를 제거하고 있다. 즉 근단화자의 신호가 발생한 경우와 반향경로가 변하는 경우를 구분했다고 볼 수 있다.

그림 11은 적응필터의 계수 오조정을 비교한다. Ye 등이 제안한 알고리즘은 적응필터가 수렴이 충분히 되지 않는 상태 약 500샘플에서 적응을 중단했다. 반향경로가 변하는 경우 반향경로가 변한 55000샘플에서부터 적응필터를 적응하였지만 약 500샘플 정도 적응필터를 동작하여 충분치 않아 수렴하지 못한 상태가 됐다. 하지만 NLMS 알고리즘과 제안하는 알고리즘은 계속 적응필터를 동작하여 수렴상태가 된다.

그림 12은 ERLE를 비교한다. ERLE가 높으면 반향제거능력이 높다. 제안하는 알고리즘은 NLMS 알고리즘보다 거의 같거나 조금 더 높은 ERLE를 가지고 있다. 이것은 반향경로가 변한 지점 55000샘플 이

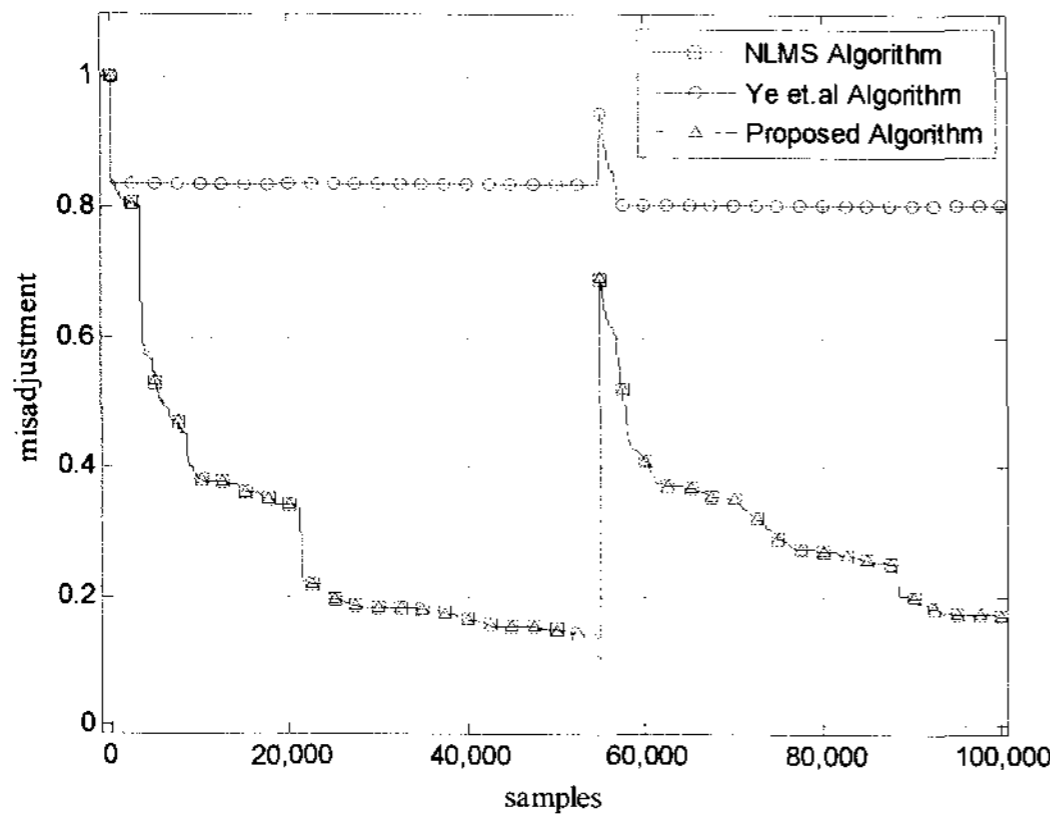


그림 11. 적응필터의 계수 오조정

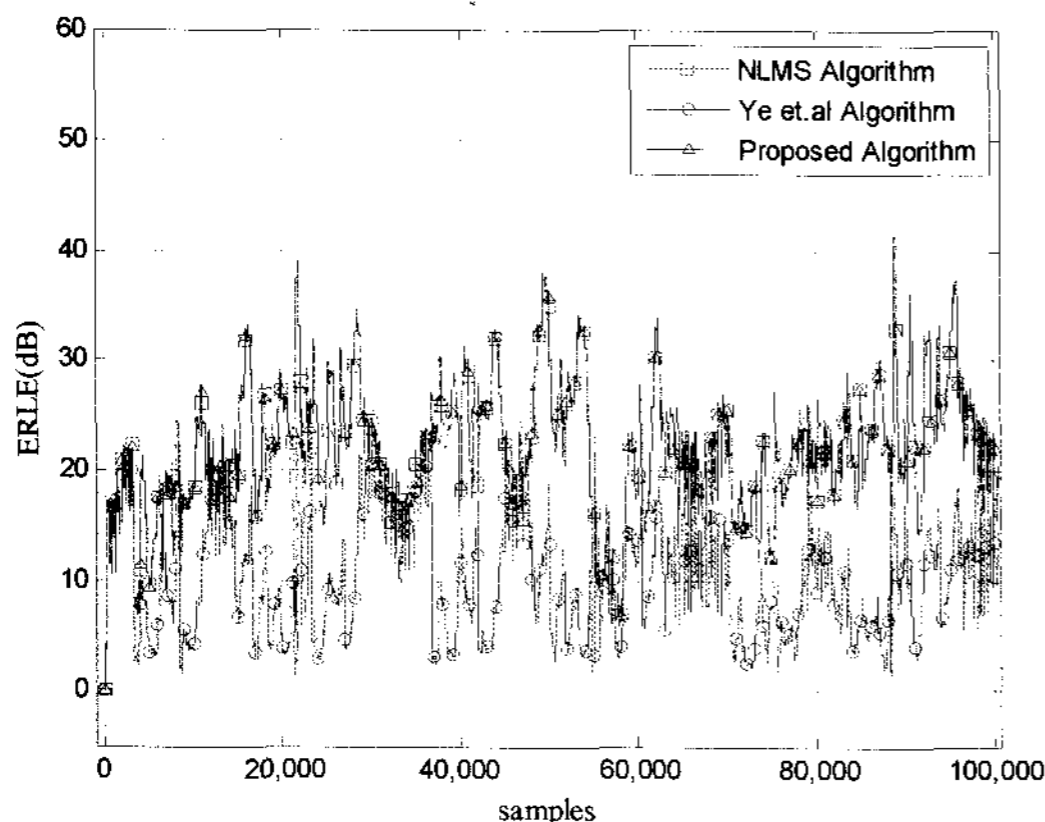


그림 12. 반향경로가 변할 때 ERLE 비교

후에도 같은 현상을 보여주었다. 그러나 Ye 등이 제안한 알고리즘은 반향경로가 변하나 변하지 않나 상관없이 5dB에서 20dB사이에 있다. 다른 두 알고리즘에 비해 반향제거성능이 떨어진다.

그림 13은 임펄스 응답에 평균이 0이고 분산이 0.02인 백색 Gaussian 잡음신호를 넣었다. 그림 13(a)는 주변 잡음신호가 -40dB인 경우이고 그림 13(b)는 -30dB인 경우에 대한 각각의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$ 를 나타낸다. 약 55000샘플에서 $ACC(k)$ 가 0.1보다 높게 나타나고 $\rho(k)$ 도 0.3보다 높게 나타난다. 이 경우에도 반향경로가 변했다고 판단하여 계속 적응필터를 적응하여 반향신호를 계속 제거한다. 제안하는 알고리즘에 설정한 각각의 문턱치는 주변 잡음신호에 영향을 받는다. 그러나 설정한 $ACC(k)$ 의 문턱치 0.1 및 $\rho(k)$ 의 문턱치 0.3에 크게 영향을 미치지 않았다.

5.3 반향경로 변화와 동시통화가 동시에 발생한 경우

적응필터가 수렴한 후 임펄스 응답에 평균이 0이

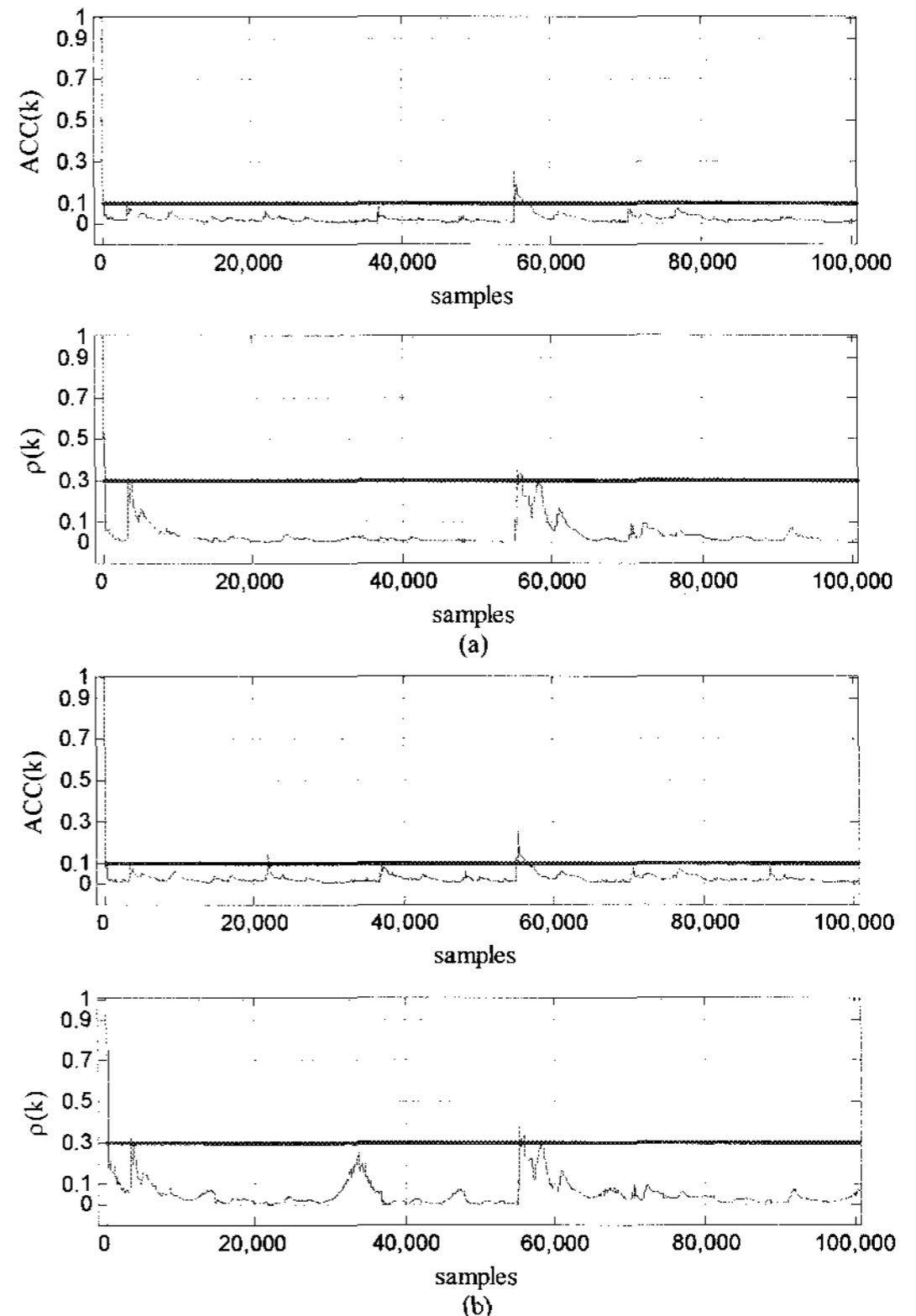


그림 13. 상관도. (a) -40dB 주변 잡음신호의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$, (b) -30dB 주변 잡음신호의 $ACC(k)$ 및 $\rho(k)$

고 분산이 0.02인 백색 Gaussian 잡음을 55000샘플 시점부터 넣었다. 또다시 적응필터가 수렴한 후 약 134000샘플에서 140000 샘플 사이에 근단화자의 신호를 넣었고, 주변 잡음신호를 각각 -40dB 및 -30dB로 시뮬레이션을 했다. 동시통화가 발생한 경우와 반향경로가 변하는 경우에 대한 같은 결과를 얻었다. NLMS 알고리즘과 Ye 등이 제안한 알고리즘보다 제안하는 알고리즘이 더 많은 반향신호를 제거하면서 근단화자의 신호를 검출하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 반향경로가 변하는 경우와 근단화자의 신호가 발생하는 경우를 구별할 수 있는 새로운 동시통화 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 추정 오차신호와 원단화자의 신호의 상관도 $ACC(k)$ 와 추정 오차신호와 마이크 입력신호의 상관도 $\rho(k)$ 를 이용해서 반향경로가 변하는 경우와 동시통화인 경우를 구분한다.

반향경로가 변할 때, $ACC(k)$ 와 $\rho(k)$ 가 각각의 문턱치보다 높아진다. 근단화자의 신호가 발생할 때, $ACC(k)$ 는 아무런 변화가 없는 반면에 $\rho(k)$ 가 문턱치보다 높아진다. 이러한 특징을 이용하여 $ACC(k)$ 와 $\rho(k)$ 가 각각의 문턱치보다 높아지면 근단화자의 신호가 발생했다고 판단하여 적응필터를 중단한다. 그 외의 $ACC(k)$ 와 $\rho(k)$ 의 변화에는 반향경로가 변했거나 적응필터가 충분히 수렴하지 못했다고 판단하여 적응필터를 계속 적응한다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과, ERLE 측면에서 기존의 Ye등이 제안한 알고리즘보다 성능이 우수한 것을 확인하였다

참 고 문 헌

[1] S. H. Jensen., "Acoustic Echo Canceller for Hands-free Mobile Radiotelephony" *Proc. EUSIPCO 1992*. Belgium, pp. 1629-1632. 1992
 [2] H. Fan and W. K. Jenkins, "An Investigation of an Adaptive IIR Echo Canceller : Advantages and Problems," *IEEE Trans. On Acoust. Speech and Signal Processing*, Vol. 36, No.12, pp. 1819-1833, 1988.

[3] Y. Takebayashi et al., "Noisy Spqntaneous Speech Understanding Using Noise Immunity Keywordd Spotting with Adaptive Speech Response Cancellation," *Proc. ICASSP'93*, Minneapolis, pp. II-115-II-118, 1993.
 [4] Peter Heitkamper, "Optimization of An Acoustic Echo Canceller Combined with Adaptive Gain Control," *Proc. ICASSP'95*, pp. 3047-3050, 1995.
 [5] H. Ye and B. Wu, "A New Double-Talk Detection Algorithm Based on the Orthogonality Theorem," *IEEE Trans .On Comm.*, Vol.39, No.11, pp. 1542-1545, 1991.
 [6] K. Ochiai, T. Araseki. And T.Ogihare, "Echo canceller with two echo path models," *IEEE Trans. On Comm.*, Vol.25, pp. 589-595, 1977.
 [7] N. Furuya et al, "High Performance Custom VLSI Echo canceller," *Proc. ICC'85.*, pp. 1470-1476, 1985.
 [8] 김순욱, 오성근, "적응 반향 제거기를 위한 새로운 동시통화 검출 알고리즘" 대한전자공학회 학술대회 논문집, 제8권 제1호, pp. 712-715, 1995.
 [9] T. Gansler, M. Hansson, C. J. Ivarsson, and G. Salomonsson, "A Double-Talk Detector Based on Coherence," *IEEE Trans. Comm.* Vol.44, No.11, pp. 1421-1427, 1996.
 [10] J. Benesty, D. R. Morgan, and J. H. Cho, "A New Class of Doubletalk detectors Based on Cross-Correlation," *IEEE Trans. SAP.*, Vol. 8, No.2, pp. 168-172, 2000.
 [11] A. Sugiyama, A. Hirano, and K. Nakayama, "Acoustic Echo Cancellation for Conference Systems," *Proc. EUSIPCO 2004*, pp. 17-20, 2004.
 [12] A. Hirano and A. Sugiyama, "A Noise-Robust Stochastic Gradient Algorithm with an Adaptive Step-size for Mobile Hands - Free Telephones," *Proc. ICASSP'95*, pp. 1392-395, 1995.
 [13] Hae Kyung Jung, Nam Soo Kim and Taejeong Kim, "A new double-talk detector using echo path estimation," *Speech Communication*, Vol.

45, Issue1, pp. 41-48, 2005.

- [14] 박장식, 손경식, “잡음환경에 강건한 음향반향 제거기 “An Acoustic Echo Canceller Robust to Noisy Environment,” 대한전자공학회 학술대회 논문집 제21권 제1호, pp. 623-626, 1998.



정 홍 희

2000년 2월 영산대학교 멀티미디어공학(학사)
 2007년 8월 부산대학교 전자공학(석사)
 관심분야 : 적응신호처리, 음향 및 음성신호처리



김 현 태

1989년 2월 부산대학교 전자공학(학사)
 1995년 2월 부산대학교 전자공학(석사)
 2000년 2월 부산대학교 전자공학(박사)
 2002년 3월~현재 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수

관심분야 : 음성 및 음향신호처리, 멀티미디어신호처리, 입체음향



박 장 식

1992년 2월 부산대학교 전자공학(학사)
 1994년 2월 부산대학교 전자공학(석사)
 1999년 2월 부산대학교 전자공학(박사)
 1997년 3월~현재 동의과학대학 디지털정보전자과 부교수

관심분야 : 음성 및 음향신호처리, 멀티미디어통신, 입체음향



손 경 식

1973년 2월 부산대학교 전자공학(학사)
 1977년 8월 부산대학교 전자공학(석사)
 1985년 12월 M.S. in Electrical Eng., The University of Alabama, USA.(석사)

1991년 8월 경북대학교 전자공학과(박사)
 1996년 10월~현재 부산대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 적응신호처리, 음향 및 음성신호처리