

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.195>

JIWIT 2012-1-25

네트워크 반향제거를 위한 동시통화에 강인한 알고리즘의 추적 성능 개선

Tracking Performance Improvement of the Double-Talk Robust Algorithm for Network Echo Cancellation

유재하*

Jae-Ha Yoo

요약 본 논문에서는 동시통화에 강인한 특성을 갖는 알고리즘의 추적성능을 개선시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 반향경로의 변화를 검출하는 방법과 적응필터의 계수 적응식을 변경하는 방법을 제안하였다. 오차신호 대 스케일 파라미터의 비는 반향경로가 변화한 경우와 동시통화가 발생한 경우에 지속시간이 다른 특성을 가지며 이를 이용하여 반향경로 변화를 검출한다. 제안한 적응필터계수 적응식은 잘못된 오차신호선택을 방지하도록 하여 추적 성능을 개선시킨다. 실제 음성신호와 ITU-T G.168에서 제공하는 반향경로를 사용한 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 4dB 이상 성능을 개선시킴을 확인하였다.

Abstract We present a new algorithm which can improve the tracking performance of the double-talk robust algorithm. A detection method of the echo path change and a modification method for the update equation of the conventional adaptive filter are proposed. A duration of the high error signal to scale parameter ratio varies according to the call status and this property is used to detect the echo path change. The proposed update equation of the adaptive filter improves the tracking performance by prohibiting wrong selection of the error signal. Simulations using real speech signals and echo paths of the ITU-T G.168 standard confirmed that as compared to the conventional algorithm, the proposed algorithm improved the tracking performance by more than 4 dB.

Key Words : Network Echo Cancellation, Double Talk, Tracking Performance, Adaptive Filter

1. 서론

반향이란 통신네트워크 상에서 통화 음질을 떨어뜨리는 주된 요소이다. 네트워크 반향은 4선루프신호와 2선루프 신호를 상호 변환해주는 하이브리드의 임피던스 부정합에 의하여 발생한다^[1]. 이러한 반향에 의한 음질 저

하는 반향신호의 크기와 지연시간에 비례하여 커지는데 디지털 음성통신에서는 음성신호를 프레임 단위로 나누어 압축하여 보내기 때문에 지연시간이 100~200 msec로 길어지므로 반향에 의한 통화 품질 저하가 심각하게 된다. 이러한 반향신호는 그림 1에서와 같이 반향이 발생하는 반향경로와 병렬로 반향을 추정하는 적응필터를 설

*정회원, 한경대학교 전자공학과/한경대학교 IT 융합연구소
접수일자 2012.1.11, 수정일자 2012.2.6.
게재확정일자 2012.2.10

Received: 11 January 2012 / Revised: 6 February 2012 /
Accepted: 10 February 2012

*Corresponding Author: yjh@hknu.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Hankyong National University,
Korea

치하고 반향 추정신호를 빼주어 원단으로 보내면 반향을 제거 시킨 상태로 통화가 가능해진다. 그러므로 적응필터는 반향경로를 정확하게 그리고 빠른 시간에 추정할 수 있어야 한다^[2].

여기서 $x(n)$ 은 상대방 통화자로부터 전달된 원단신호(far-end signal)를 나타낸다. $y(n)$, $w(n)$ 그리고 $\xi(n)$ 은 각각 반향신호(echo signal), 근단화자신호(near-end talker signal)와 배경잡음(back ground noise)을 나타내며 나머지 $z(n)$ 은 위의 세 신호가 합쳐진 근단신호(near-end signal)를 나타낸다. 적응필터를 설치하지 않는 경우 근단신호가 원단으로 전달되게 된다.

$\hat{y}(n)$ 은 적응필터로부터 생성된 추정반향신호(estimated echo signal)이며 $e(n)$ 은 근단신호 $z(n)$ 으로 부터 추정반향신호를 차감한 오차신호(error signal)이다.

$x_n = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-L+1)]^T$ 은 적응필터의 기준신호입력벡터를 나타내며, $h_n = [h_n(0), h_n(1), \dots, h_n(L-1)]^T$ 은 적응필터의 필터계수 벡터를 나타낸다. 여기서 L 은 적응필터의 길이를 나타낸다.

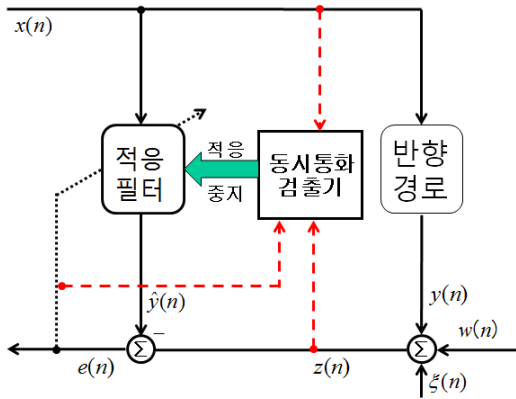


그림 1. 네트워크 반향제거기
Fig. 1. Network Echo Canceller

원단신호가 존재하는 동안 근단화자 신호도 존재하는 것을 동시통화라 하며 이때 오차신호 $e(n)$ 에 근단화자 신호가 존재하게 되어 필터 계수의 적응을 계속하는 경우 필터가 발산하게 된다. 그러므로 그림 1에서와 같이 동시통화 검출기를 설치하여 필터계수의 적응을 멈추도록 해야 한다^[3]. 동시통화 검출을 위한 많은 방법들이 제안되어 왔으나^[4,5] 완벽한 검출방법은 존재하기 어렵다. 즉, 동시통화가 발생하자마자 검출하는 것은 불가능하며

일정 시간이 지난 뒤에야 검출이 되어 적응필터 계수가 발산하는 일도 발생하게 된다.

이와 같이 동시통화를 빠르게 검출할 수 없다는 전제하에 동시통화 검출이 늦게 되더라도 발산속도를 늦출 수 있는 방법이 제안되었다^[6]. 이 방법은 동시통화 상황에서는 그 성능이 매우 우수하다. 그러나 반향경로가 변화한 경우에는 이를 잘 추적하지 못하는 문제점이 있다^[6].

본 논문에서는 추적성능에 문제가 있는 동시통화에 강인한 알고리즘의 추적성능을 개선하기 위하여 반향경로가 변화한 상태를 검출하고 필터계수 적응 알고리즘을 개선하여 성능을 개선하는 방법을 제안하고 이를 실험을 통하여 증명해 보이고자 한다.

II. 동시통화에 강인한 알고리즘

반향경로를 추정하기 위해 사용되는 적응필터로서는 계산량이 간단하고 구현이 쉬운 NLMS(Normalized Least Mean Square)알고리즘이 많이 사용되며 다음과 같이 필터링과 계수 적응이 이루어진다.

$$\hat{y}(n) = X_n^T h_n \tag{1}$$

$$e(n) = z(n) - \hat{y}(n) \tag{2}$$

$$h_{n+1} = h_n + \frac{\mu}{X_n^T X_n + \delta} X_n e(n) \tag{3}$$

여기서 μ 는 수렴속도를 조절하는 수렴계수이다. (3)은 필터계수의 적응을 나타내는 식이며 오차신호가 적어지도록 필터계수가 변화하게 된다. 그러나, 동시통화 구간에서는 오차신호에 근단화자의 신호가 포함되어 필터계수가 반향경로와는 무관한 방향으로 발산하게 된다. 그러므로 동시통화를 빠르게 검출하여 적응필터의 계수 적응을 멈추어야 한다. 그러나 동시통화가 시작되는 순간을 검출하는 것은 불가능하기 때문에 동시통화에 강인한 알고리즘에서는 다음과 같이 필터계수의 적응을 변경하여 검출이 늦게 되더라도 발산을 최소화 하도록 한다. NLMS알고리즘의 필터계수 적응식 (3)을 다음과 같이 변경한다.

$$h_{n+1} = h_n + \frac{\mu}{X_n^T X_n + \delta} X_n \frac{e(n)}{|e(n)|} \min(|e(n)|, k_0 s(n)) \tag{4}$$

여기서 $s(n)$ 은 시변 스케일파라미터(scale parameter)로서 오차신호의 절대치를 추정하며, k_0 는 근단화자 신호에 의해 오염된 오차신호를 검출하기 위한 문턱치(threshold)이며 1.1을 사용한다^[6]. $s(n)$ 은 다음과 같이 계산된다^[7].

$$s(n) = \lambda s(n-1) + \frac{1-\lambda}{\beta} \min(|e(n)|, k_0 s(n)) \quad (5)$$

이 때 λ 는 망각인자로서 $s(n)$ 추정치의 정확도와 변화하는 $s(n)$ 에 대한 추정능력을 좌우하며 β 는 정규화 상수이다. λ 와 β 는 각각 0.997과 0.60665이며 $s(n)$ 의 초기값은 전화망을 고려하여 -18 dBm(16비트 표현시 2000)을 사용한다^[6].

(4)를 관찰해 보면 오차 신호와 스케일파라미터와 k_0 의 곱 중 작은 값을 사용하여 필터계수를 적응하는데 이는 다음과 같은 장점을 갖는다. 동시통화가 발생하였으나 동시통화 검출기에 의해 동시통화가 검출되기 전에도 오차신호는 커지게 되며 이 때 오염된 오차신호 대신에 오차신호의 추정치인 스케일파라미터에 기반한 값을 사용하여 필터계수의 발산을 늦출 수 있게 된다. 실제 음성 신호를 사용하여 실험한 결과 동시통화를 늦게 검출하여도 필터계수가 발산하지 않아 동시통화시의 성능이 우수함을 관찰할 수 있었다. 그러나 반향경로가 변화하는 경우에는 추적성능이 저하되는 문제점을 가지고 있다^[6].

III. 제안한 추적성능 개선 알고리즘

동시통화에 강인한 알고리즘이 반향경로가 변화한 경우 성능이 저하되는 원인은 다음과 같이 분석될 수 있다. 동시통화구간에서는 반향경로의 추정이 완벽하여도 근단화자신호가 존재하기 때문에 오차신호가 커지게 된다. 반면 반향경로가 변화한 경우에는 계산된 필터계수가 변화한 반향경로와 차이가 있게 되어 오차신호가 커지게 된다. 그러므로 새로운 반향경로를 따라 가기 위해서는 오차신호를 사용하여 필터계수가 적응되어야 한다. 그러나 동시통화 구간에서와 같이 오차신호 $e(n)$ 대신에 $k_0 s(n)$ 이 선택되어 반향경로의 추적성능이 저하되게 된다. 실험을 통하여 관측한 결과 반향경로가 변화한 경우에도 오차신호 $e(n)$ 이 사용되지 않고 $k_0 s(n)$ 이 사용되는 것을 관찰할 수 있었다. 그러므로 반향경로가 변

화한 경우를 검출하고 필터계수의 적응이 오차신호에 의해 이루어지도록 해야 한다.

오차신호의 크기 $|e(n)|$ 과 스케일파라미터 $s(n)$ 의 비를 다음과 같이 $e2s(n)$ 으로 정의한다.

$$e2s(n) = \frac{|e(n)|}{s(n)} \quad (6)$$

통화상태별 $e2s(n)$ 의 특성을 알아보기 위해 음성 신호를 사용하여 실시한 실험결과는 그림 2와 같으며 반향경로가 변화한 경우와 동시통화가 발생한 경우의 $e2s(n)$ 이 다르게 나타남을 볼 수 있다. 5초에서는 반향경로가 변화한 경우이며 7초부터 7.2초까지 0.2초 동안은 동시통화가 발생한 구간이다. 적응필터가 수렴하고 단일통화 구간인 2~5 초 구간에서는 $e2s(n)$ 이 작은 값을 나타낸다. 반향경로가 변화한 구간과 동시통화 구간에서는 모두 $e2s(n)$ 이 증가한다. 그러나, 동시통화는 음성 에 의한 것이기 때문에 일정시간 이상 지속되는 반면, 반향경로가 변화한 경우는 상대적으로 짧은 시간동안만 $e2s(n)$ 이 일정 값 이상을 갖게 되는 것을 관찰할 수 있다.

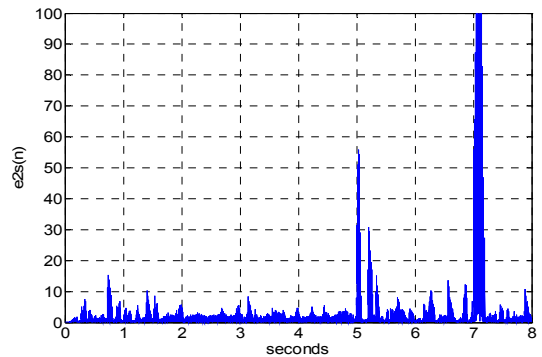


그림 2. 통화상태에 따른 $e2s(n)$
Fig. 2. $e2s(n)$ according to the call status

$e2s(n)$ 은 반향경로가 변화한 경우에는 동시통화가 발생한 경우에 비해 지속 구간이 작은 특성을 갖게 되기 때문에 이를 이용하여 두 가지 통화상태를 구분할 수 있다. 반향경로가 변화한 것으로 판단되는 경우에는 필터계수 적응을 변경하여 추적성능을 개선하도록 하여야 한다. $e2s(n)$ 은 음성신호를 가지고 계산된 값이므로 크기가 샘플마다 변화하기 때문에 다음과 같이 최근 N 샘플 동안의 이동평균값 $e2sm(n)$ 을 얻고 이를 이용하여 그림 3과 같은 검출법에 의해 반향경로 변화를 검출한다.

$$e2sm(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} e2s(n-k) \quad (7)$$

$$h_{n+1} = h_n + \frac{\mu}{X_n^T X_n + \delta} X_n \frac{e(n)}{|e(n)|} \min(|e(n)|, k_{epc}s(n)) \quad (8)$$

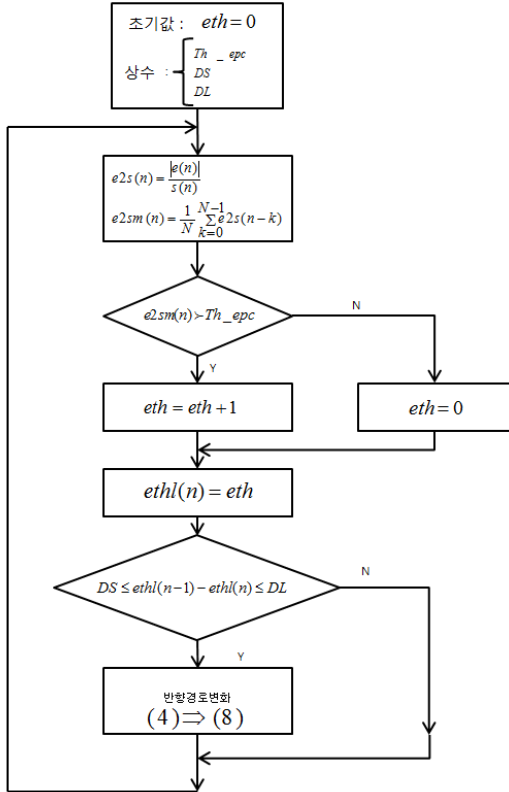


그림 3. 반향경로 변화 검출법 흐름도
Fig. 3. Flow chart of the echo path change detection

$e2sm(n)$ 이 반향경로변화 검출을 위한 문턱치 Th_{epc} 보다 큰 시간의 지속구간 $ethl(n)$ 이 DS 보다 크고 DL 보다 작은 경우에는 반향경로가 변화한 것으로 판별한다. 이때 DS 는 배경잡음에 의해 반향경로변화를 잘못 판단하는 것을 방지할 수 있도록 일정 값 이상이어야 하며, DL 은 반향경로가 변화한 경우와 동시통화를 구분할 수 있는 범위의 값을 가져야 한다. DL 은 작은 값을 가질수록 반향경로의 변화를 빠르게 검출할 수 있는 장점이 있으나 보다 정확한 검출을 위해 $e2sm(n)$ 의 특성을 고려하여 일정 값 이상을 유지해야 한다. 반향경로변화가 일어났다고 판단되면 적응필터의 계수적용식 (4)를 다음과 같이 변경한다.

이 때 k_{epc} 는 k_0 보다 큰 값이며 반향경로변화가 발생한 경우에만 사용되며 스케일파라미터 추정식 (5)에서의 k_0 는 변화시키지 않는다. k_{epc} 가 k_0 보다 큰 값이기 때문에 (8)에서 오차신호 $e(n)$ 이 $k_{epc}s(n)$ 대신 필터계수 적용에 사용되어 적응필터가 잘 수렴할 수 있다. 적응필터가 변화한 반향경로에 잘 수렴하였다고 판단된 경우에는 다시 (4)를 사용하여 필터계수를 적용시킨다.

IV. 모의실험 결과

제한한 성능 개선 알고리즘이 기존의 동시통화에 강한 알고리즘에 비해 반향경로 추적 성능이 우수함을 증명하기 위하여 실제 음성신호를 사용한 성능 평가를 하였다. 실험에 사용된 음성신호는 8 kHz로 샘플링된 방송국 아나운서의 음성신호이다. 반향경로의 임펄스응답은 ITU-T G.168 권고안에 제시된 반향경로 모델 5번과 6번을 사용하였다^[8]. 그림 4는 실험에 사용된 임펄스응답을 나타낸다. 반향경로를 통한 감쇄는 20dB, 반향신호 대 잡음비는 39dB, 원단신호 대 근단화자신호의 비는 6dB이며 동시통화 검출은 기존의 방법과 제안한 방법 모두 Geigel 검출법^[6]을 사용하였다. 반향경로변화 검출을 위한 문턱치 Th_{epc} 는 5, DS 는 10, DL 은 800, k_{epc} 는 3을 사용하였다. 반향경로의 임펄스응답과 적응필터의 길이는 모두 128 탭(16ms)을 사용하였다.

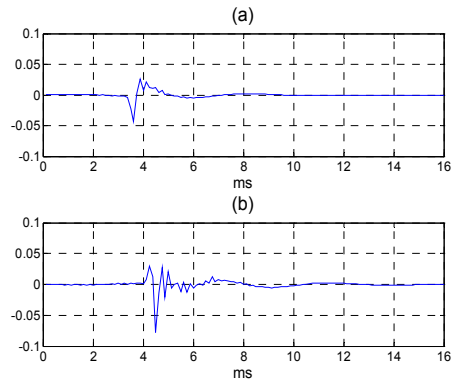


그림 4. 임펄스응답 (a) 모델 5 (b) 모델 6
Fig. 4. Impulse Responses (a) model 5 (b) model 6

그림 5는 사용된 원단신호 $x(n)$ 과 근단신호 $z(n)$ 을 나타낸다. 4초 부근에서 반향경로가 변화하며 6초에 동시통화가 발생한다.

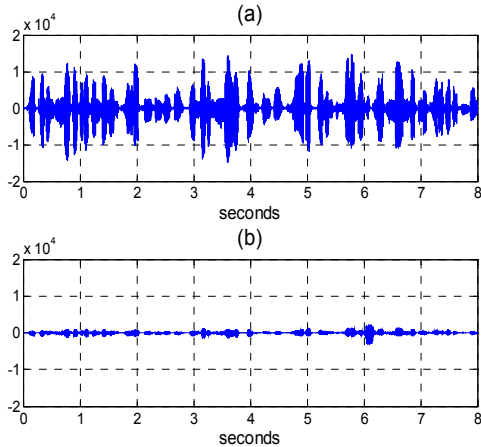


그림 5. (a) 원단신호 (b) 근단신호
Fig. 5. (a) Far-end signal (b) Near-end signal

성능 평가는 실제 반향경로의 임펄스응답 h_{opt} 과 적응 필터의 임펄스응답 h_n 의 차이를 나타내는 Misalignment를 사용한다^[6].

$$\text{Misalignment (dB)} = 20 \log_{10} \frac{\|h_{opt} - h_n\|}{\|h_{opt}\|} \quad (9)$$

1. 반향경로가 천천히 변화한 경우

반향경로가 4초에서 4.1초 까지 100 msec 동안 반향경로 모델 5번에서 6번으로 서서히 변화한 경우의 성능을 비교한 결과는 그림 6과 같다.

반향경로가 변화하기 시작한 4초 직후에는 두가지 방법 모두 적응필터의 임펄스응답이 반향경로의 임펄스응답을 잘 추정하지 못하여 일시적으로 Misalignment가 커진다. 그러나 그 이후에도 기존의 방법은 잘 수렴하지 못하는 반면 제안한 방법은 잘 수렴함을 관찰할 수 있다. 4초에서 6초까지 2초 동안의 평균 Misalignment는 기존의 방법이 -8.2 dB이고 제안한 방법은 -12.7 dB로서 제안한 방법이 4.5 dB 정도 성능을 개선시킴을 관찰할 수 있다.

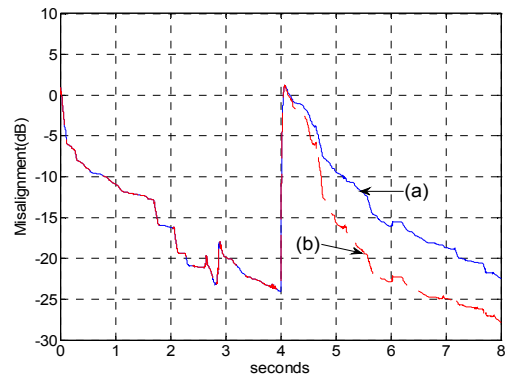


그림 6. 성능비교 1
(a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법
Fig. 6. Performance comparison 1
(a) Conventional method
(b) Proposed method

2. 반향경로가 급격히 변화한 경우

반향경로가 4초에서 4.001초 까지 1 ms 동안 반향경로 모델 5번에서 6번으로 급격히 변화한 경우의 성능을 비교한 결과는 그림 7과 같다. 4초에서 6초까지 2초 동안의 평균 Misalignment는 기존의방법이 -8.6 dB, 제안한 방법은 -12.7 dB로서 제안한 방법이 4.1 dB 정도 성능을 개선시킴을 알 수 있다.

반향경로가 천천히 변화하는 경우와 급격히 변화하는 경우 모두 제안한 방법이 추적성능을 향상시킬 수 있음이 증명되었다.

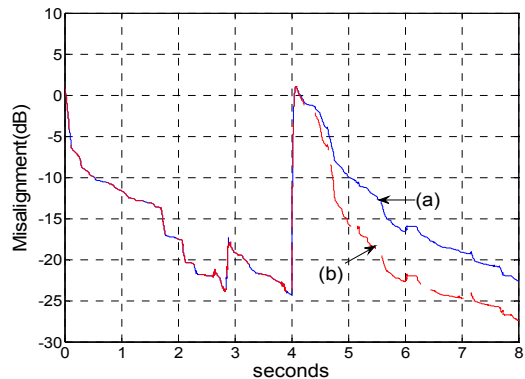


그림 7. 성능비교 2
(a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법
Fig. 7. Performance comparison 2
(a) Conventional method
(b) Proposed method

V. 결론

본 논문에서는 동시통화에 강인한 특성을 갖고 있는 기존 알고리즘의 문제점인 반향경로변화시의 추적성능 감소의 문제를 해결하기 위하여 반향경로의 변화를 판단할 수 있는 검출법과 적응필터계수 적응식을 변경하는 방법을 제안하였다.

실제 음성신호와 ITU-T G.168에서 제공하는 반향경로를 사용한 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 4 dB 이상 우수하였으며, 반향경로가 천천히 변한 경우와 급격히 변한 경우 모두 제안한 방법이 효과적으로 성능을 개선시킬 수 있음이 확인되었다.

References

- [1] K. Murano, S. Unagami and F. Amano, "Echo Cancellation and Applications", IEEE Comm. Magazine, pp. 49-55, Jan. 1990. Fundamentals of Adaptive Filtering, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] Jae-Ha Yoo, Sung-Ho Cho and Dae-Hee Youn, "An acoustic echo cancellation based on the adaptive lattice-transversal joint (LTJ) filter structure," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E81-A (9), pp. 1951-1954, September, 1998.
- [3] H. Ye and B.X. Wu, "A new double-talk detection algorithm based on the orthogonality theorem", IEEE Trans. Commun., 39, no.11, pp. 1542-1545, Nov. 1991.
- [4] J. Benesty, D.R. Morgan, and J.H. Cho, "A new class of double-talk detectors based on cross-correlation", IEEE Trans. Speech Audio Process, vol.8, no.2 pp.168-172, Mar. 2000.
- [5] Seon Joon Park, Chom Gun Cho, Chungyong Lee and Dae Hee Youn, "Integrated Echo and Noise Canceller for Hands-Free Applications," IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 49, no.36, pp. 188-195, March 2002.

- [6] Thomas Gänslér, Steven L. Gay, M. M. Sondhi, and Jacob Benesty, "Double-Talk Robust Fast Converging Algorithms for Network Echo Cancellation", IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 8, no.6, pp. 656-663, Nov. 2000.
- [7] Jiaquan Huo, Ka Fai Cedric Yu, Sven Nordholm, and Kok Lay Teo, "A robust transform domain echo canceller employing a parallel filter structure," Signal Processing, vol. 86, no.2 pp.3752-3760, 2006.
- [8] ITU-T G.168 : Recommendations for Digital Network Echo Cancellers, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, August, 2004.

저자 소개

유재하(정회원)



- 1990년 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1992년 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학 석사)
- 1996년 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학 박사)
- 1996년 ~ 현재 : 한경대학교 전자공학과 부교수
- 2011년 8월 ~ 현재 : 한경대학교 IT 융합연구소장
- 1996년 ~ 2002년 : LG전자 Digital Media 연구소 책임연구원
<주관심분야 : 적응신호처리, 잡음제거, 음성신호처리, 물류 등>