

핸즈프리 전화기를 위한 선형 예측기를 이용한 잔여반향 및 잡음 제거 구조

A Residual Echo and Noise Reduction Scheme with Linear Prediction for Hands-Free Telephony

황 경 록*, 손 경 식*, 김 현 태**
(Kyung-Rok Hwang*, Kyung-Sik Son*, Hyun-Tae Kim**)

*부산대학교 전자전기공학부, **동의대학교 멀티미디어공학과
(접수일자: 2009년 2월 19일; 수정일자: 2009년 4월 23일; 채택일자: 2009년 5월 27일)

본 논문에서는 핸드프리 전화통신을 위한 선형예측기를 이용한 잔여반향 및 잡음제거구조를 제안한다. 제안하는 구조는 비동시통화구간의 잔여반향신호를 선형예측하여 백색화시킨다. 선형예측에 의해 백색화된 잔여반향신호에는 여전히 음성 성분이 남아있다. 제안된 구조는 선형예측오차신호와 선형예측신호의 전력을 이용하여 백색화된 신호를 더욱 더 백색화시킨다. 이러한 백색화 과정을 거치면 동시통화구간에는 근단화자음성과 주변 잡음이 존재하고, 비동시통화구간에는 백색잡음이 존재하게 된다. 근단화자음성과 백색화된 신호를 결합하여 다시 선형예측기에 통과시켜 배경잡음을 추가로 제거한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법이 AIC (acoustic interference cancellation) 측면에서 우수함을 보인다.

핵심용어: 음향 반향 제거기, 잔여반향 저감, 잡음 저감, 선형 예측

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1,2)

In this paper, we propose a residual echo and noise reduction scheme by using linear predictor for hands-free telephony applications. The proposed scheme whitens residual echo by the linear prediction during the non double-talk. But whitened residual echo signal still has speech characteristics. In this scheme, the whitened residual echo signal is more whitened by using the power of the linear prediction error signal and the linear predicted signal. After whitening process, near-end speech and ambient noise is present during double-talk but white noise will appear during non double-talk situation. By linearly predicting again the combined signal of the near-end speech and the whitened signal, the ambient noise is removed. Through computer simulation, it is shown that the proposed method performs well at the side of AIC (acoustic interference cancellation).

Keywords: Acoustic echo cancellation, Residual echo reduction, Noise reduction, Linear prediction

ASK subject classification: Acoustic Signal Processing (1,2)

I. 서론

무선 통신기술을 이용한 전화통신이 사회 전 분야에 확산되면서 보다 편리하고 안정된 통화를 위해 핸드프리 (hands-free) 방식의 음성통신이 도입되고 있으며 차량용 핸드프리 전화기, 원격 회의 시스템 등의 분야에 사용되고 있다 [1]. 그러나 핸드프리를 이용한 통신방식에서는 이전의 송수화기를 사용할 때에는 발생하지 않았던 문제들이 발생하게 된다. 첫 번째 문제는 스피커로 출력

된 음성이 일정한 반향 경로 (echo path)를 통해 다시 마이크로 입력되는 음향 반향의 문제이다. 음향 반향은 일반적으로 음향 반향 제거기 (acoustic echo canceller)에 의해 제거되지만 음향 반향 제거기에 사용된 적응필터 길이의 제약과 적응 알고리즘의 오추정으로 잔여반향이 여전히 존재하는 문제점을 가진다. 또 다른 문제는 핸드프리 시스템을 사용하는 근단화자 주변의 잡음이 근단화자의 음성과 함께 전달되어 음질을 저하 시킨다는 것이다. 따라서 핸드프리 전화통신 상황에서 주변 잡음 제거는 특히 중요하다.

최근 들어 핸드프리 상황에서 이 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위하여 음향 반향 제거와 주변 잡음 제거를

책임저자: 김 현 태 (htaekim@deu.ac.kr)
614-714 부산시 진구 가야동 산24 동의대학교 멀티미디어공학과
(전화: 051-890-1992; 팩스: 051-890-2640)

결합하는 문제가 크게 대두되고 있다. 특히 음향 반향 제거기에 후처리를 연결하여 잡음뿐만 아니라 잔여반향 성분을 추가로 제거하는 방법이 제안되었다 [2-4]. 하지만 잔여반향은 음성 신호와 매우 유사한 특성을 갖기 때문에 일반적인 잡음 제거 후처리를 사용할 경우 근단화자 음성 신호에 왜곡이 발생하는 문제가 있다. 또한 완벽하게 제거되지 않은 잔여반향은 여전히 음성신호와 같은 특성을 가지므로 귀에 거슬리게 된다. 이와 같은 문제를 해결하고자 동시통화 검출기를 이용하여 동시통화 구간과 비동시통화 구간을 구분하고 비동시통화 구간에 남아있는 잔여반향을 선형 예측 오차 필터를 사용하여 잔여반향 신호를 백색화 하는 연구방법이 제안되었다 [3]. 그러나 이 방법은 여전히 잔여반향의 전력이 잡음의 전력보다 높게 남아있고 EVRC (Enhanced variable-rate codec) [5]의 잡음제거기를 이용하므로써 복잡한 구조와 많은 연산량을 가진다.

본 연구에서는 동시통화 검출기를 이용하여 동시통화 구간과 비동시통화 구간을 구분하여 비동시통화 구간에 남아있는 잔여반향을 선형 예측 오차 필터로 백색화하는 연구방법 [3]을 기반으로 하여 비동시통화 구간의 백색화 후 여전히 남아있는 잔여반향의 전력을 감소시켜 비동시통화 구간의 신호를 더욱 백색 잡음화 시키는 구조를 제안한다. 이 백색화 후 제안하는 구조의 출력은 동시통화 구간에는 근단화자 음성과 주변 잡음으로, 비동시통화 구간에는 백색잡음으로 구성된다. 이 출력신호를 잡음 감쇠함수에 통과시킨 후 다시 선형 예측기에 통과시켜 비동시통화 구간 및 동시통화 구간에 혼재하는 잡음을 추가적으로 줄인다.

II장에서 기존의 음향 반향 제거기 및 음향 반향 제거기의 중요 요소인 동시통화 제거기 그리고 기존의 잔여반향 백색화 방법을 서술한다. III장에서는 기존의 잔여반향 백색화 후에도 남아있는 잔여반향을 부가적으로 줄이는 잔여반향 감쇠 함수와 잡음을 제거하는 잡음 감쇠함수, 추가적인 잡음 제거를 위한 선형 예측기를 가지는 제안하는 구조를 설명한다. IV장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 구조의 성능을 분석하여 기존의 제거 방법의 성능과 비교 및 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 음향 반향 제거기

2.1. 음향 반향 제거기

본 장에서는 제안된 시스템의 기반이 되는 기존의 음향

반향 제거기와 잔여반향 백색화 기법을 설명한다. 이때 음향 반향 제거기는 NLMS (normalized least mean square) 적응 알고리즘을 사용하는 적응 필터에 의해 반향을 제거하고, 적은 계산량을 가지는 정규화된 상호상관 계수 (normalized cross-correlation coefficient)를 이용한 동시통화 검출 알고리즘을 포함한다. 적응필터를 이용한 음향 반향 제거기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 이때 $x(k)$ 는 원단 화자 신호로, 적응필터의 입력신호이다. $d(k)$ 는 근단화자의 스피커에서 출력되어 마이크로 입력되는 반향 신호이다. $v(k)$ 는 근단화자 신호이고 $n(k)$ 는 주변잡음 신호이다. $y(k)$ 는 반향과 주변잡음 신호를 포함하는 마이크 입력신호로 적응필터의 주입력 신호 (primary input signal)가 된다. 근단화자 신호 $v(k)$ 가 없을 때, $e(k)$ 는 적응필터의 추정 오차신호 (estimation error)이며 음향 반향 제거기의 잔여반향 $r(k)$ 와 주변 잡음신호 $n(k)$ 를 포함한다. 음향 반향 제거기에 N 차의 적응 FIR 필터와 NLMS (Normalized LMS)알고리즘을 사용한 경우의 필터 계수 적응은 식 (1)과 같다 [6].

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + \frac{\mu}{\mathbb{X}^T(k)\mathbb{X}(k)} \mathbb{X}(k)e(k) \quad (1)$$

여기서 $\mathbb{X}(k)$ 는 입력 벡터이고 μ 는 적응 알고리즘의 적응 상수이다.

음향 반향 제거기의 안정적인 동작을 위한 중요한 요소 중의 하나가 동시통화 검출기이다. 근단화자가 침묵할 때는 반향 추정오차 신호와 약간의 잡음만이 적응필터의 적응 알고리즘에 작용하게 되어 적응필터 계수벡터 $\hat{h}(k)$ 는 반향 경로 응답 $h(k)$ 를 성공적으로 추정하여 반향을 제거하게 된다. 그러나 근단화자와 원단화자가 동시에 말하는 동시통화 상태가 되면 근단화자의 음성이 적응 알고리즘의 강력한 방해 잡음으로 작용하여 적응필터 계

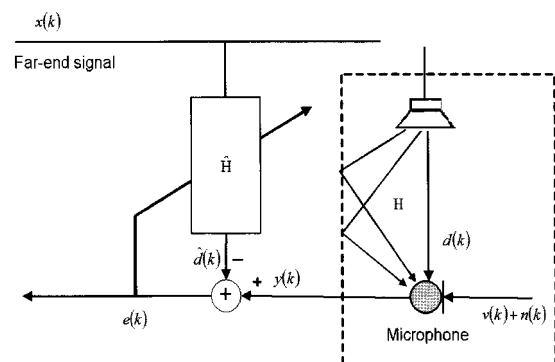


그림 1. 음향 반향 제거기의 구조
Fig. 1. Structure of the Acoustic echo canceller.

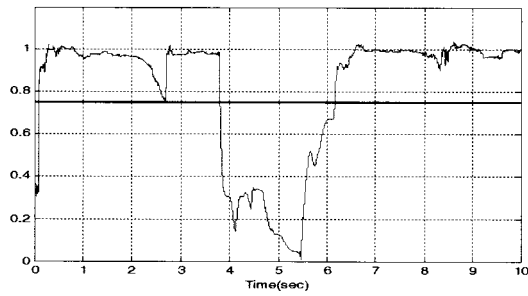


그림 2. 동시통화 검출 변수 및 문턱값
Fig. 2. Double talk detection variable and threshold.

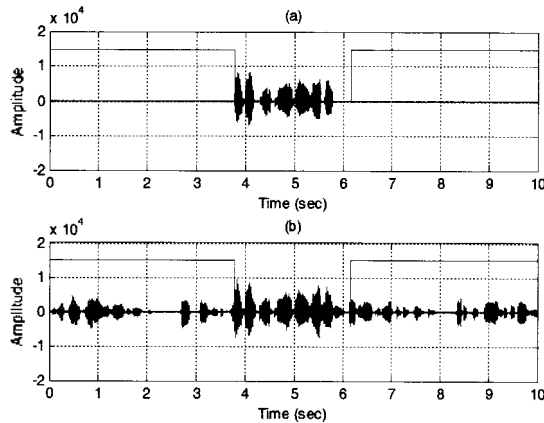


그림 3. (a) 근단화자신호와 동시통화구간 (b) 마이크 입력신호와 동시통화구간
Fig. 3. (a) Near-end signal and duration of DT (b) Microphone input signal and duration of DT.

수벡터 $\hat{m}(k)$ 를 발산시킨다. 그러므로 동시통화 구간을 검출하여 동시통화 구간에서 적응필터의 적응을 멈추게 해야 한다. 제안된 시스템에서는 적은 연산량을 필요로 하면서도 음향 반향 제거기를 안정적으로 동작하게 하는 정규화된 상호상관 계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘을 사용하였다 [7].

이 동시통화 검출 알고리즘을 사용하여 구한 검출 결과는 그림 2와 같고 적절한 문턱값 T 에 의해서 그림 3과 같이 동시통화 구간을 검출하였다. 이때 문턱값 T 는 0.75로 설정하였다. 실험 조건 및 환경은 4장에서 설명한다.

2.2. 잔여반향 백색화

잔여반향 백색화 필터를 이용한 잔여반향 및 잡음 제거 구조는 효과적인 동시통화 검출기를 통해 근단화자 신호가 없는 경우 잔여반향 신호의 특성을 배경 잡음화시켜 잡음 제거기의 입력으로 사용함으로써 잔여반향 제거 성능을 향상시키는 방법이다 [3]. 잔여반향 백색화 필터를 이용한 잔여반향 백색화 구조는 그림 4와 같다. 그림 4는 그림 1의 적응반향제거기의 출력단인 $e(k)$ 에 연결되는 구조이다. 비동시통화구간에는 선형예측오차필터에 연

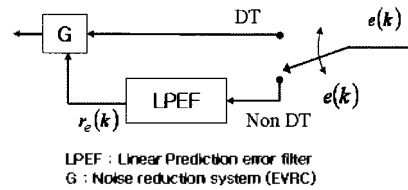


그림 4. 잔여반향 백색화 구조
Fig. 4. Structure of residual echo whitening filter.

결되어 $e(k)$ 에 남아있는 잔여반향신호는 백색화된다. 그러나, 잔여반향신호 $e(k)$ 에는 아직 음성성분이 남아 있다. 더욱이 $e(k)$ 를 선형예측하여 나온 출력 $r_e(k)$ 에도 역시 음성특성이 주변잡음보다 높게 남아있다 [9]. 그림 4에서 동시통화구간에는 적응잡음제거기의 출력 $e(k)$ 는 그림 4와 같이 잡음감쇠함수 (G)를 거쳐 출력된다. 잔여반향 백색화 필터는 P 차의 선형 예측 오차 필터를 사용하여 잔여반향 신호를 백색화 한다.

이때 비동시통화 구간에서의 적응필터의 추정 오차 신호 $e(k)$ 는 음성신호의 특성을 가지므로 P 차의 선형 예측 오차 필터를 사용하여 식 (2)와 같이 백색화 (whitening) 할 수 있다.

$$r_e(k) = e(k) - \sum_{i=1}^P a_i(k)e(k-i) \quad (2)$$

식 (2)에서 $a_i(k)$ 는 선형 예측기의 계수, $r_e(k)$ 는 백색화된 음향 반향 제거기의 오차신호를 나타낸다. 선형 예측기의 계수는 Wiener-Hopf 방정식의 해로부터 구할 수 있으며, 이 해는 Levinson-Durbin 알고리즘을 이용하여 간단히 구할 수 있다 [8].

III. 제안하는 잔여반향 및 잡음 제거 구조

제안하는 구조는 그림 5와 같다. 제안하는 구조는 2장에서 설명한 기존의 구조에 여전히 잡음의 전력수준보다 높은 전력을 가지는 잔여반향의 전력을 낮추기 위하여, 이보다 앞선 시스템인 선형 예측 오차 필터의 출력인 선형 예측 신호와 선형 예측 오차를 더 백색잡음화시킨다. 잔여반향 감쇠부의 출력을 잡음 감쇠 함수에 입력하여 잡음 전력을 줄이고 마지막으로 선형 예측기의 백색 가우시안 잡음 제거 효과를 이용하여 비동시통화 구간 및 동시통화구간의 잡음을 추가적으로 제거하므로써 근단화자의 음질을 향상시킨다.

그림 1의 적응필터의 계산량에 비해, 그림 5와 같이 두

번의 선형예측(그림 4에서는 한번의 계산량이 필요함)의 계산량은 상대적으로 적기 때문에 전체적으로 계산량의 증가는 분해되지 않는다. 특히 그림 5에서 블록 NR과 블록 RER은 계산량이 거의 없다. 그림 1의 적응반향제거기의 출력 $e(k)$ 는 그림 5의 입력과 연결된다. 비동시통화 구간의 잔여반향을 선형예측(LPEF)하여 선형예측신호와 선형예측오차신호를 이용하여 백색화된 신호 $r_e(k)$ 를 더욱 더 백색화시키고, 그 전력은 주변잡음의 전력수준으로 줄인다. 또 그림 5의 신호 $z(k)$ 는 근단화자신호와 거의 백색화된 신호 $\hat{r}_e(k)$ 의 합으로 구성되어 있다. 이것을 선형예측하면 출력신호 $\hat{z}(k)$ 는 거의 잡음이 없는 깨끗한 근단화자신호만 남는다. 이 때 단점은 선형예측에 의해 근단화자신호가 왜곡된다는 것이다.

그림 6은 그림 5에서 선형예측오차 필터부와 잔여반향 감쇠부를 따로 떼어 놓은 그림이다. 그림 6에서 선형예측 오차 필터의 입력 신호는 $e(k)=r(k)+n(k)$ 이고 출력 신호는 $r_s(k)$ 와 $r_e(k)$ 로 $r_e(k)$ 는 선형예측 오차이다. 그리고 $r_s(k)$ 는 잔여반향 $e(k)$ 의 선형예측 신호로서 잔여반향신호 $r(k)$ 와 유사한 성질을 가진다. 주변 배경 잡음 $n(k)$ 는 잔여반향 $r(k)$ 와 비상관(uncorrelated) 신호이므로 선형예측기는 단지 추정오차 신호의 음성신호의 특성을 가진 잔여반향 성분 $r(k)$ 만이 예측될 수 있다 [8]. 또 선형예측 오차신호 $r_e(k)$ 에는 여전히 잔여반향 신호 성분이 남아있다 [9]. 이러한 결과를 바탕으로 선형예측 결과인 $r_s(k)$ 의 평균전력과, 주변 잡음과 유사한 특성을 가지는 백색화된 추정오차 신호 $r_e(k)$ 의 평균전력을 이용하여 백색화된 잔여반향 신호의 전력을 주변잡음전력 수준으로

낮추고, $r_e(k)$ 신호를 더욱 더 백색화시킬 수 있다. 식 (3)은 전술한 분석에 따라 제안하는 잔여반향 감쇠함수는

$$\hat{r}_e(k) = \frac{E\{r_e^2(k)\}}{E\{r_s^2(k)\} + E\{r_e^2(k)\}} r_e(k) \quad (3)$$

이다. 잔여반향 백색화 필터 및 잔여반향 감쇠 함수의 동작은 그림 7에서 확인 할 수 있다. 그림 7은 추정오차 신호(그림 6의 $e(k)$)와 잔여반향 백색화 과정의 출력신호(그림 6의 $r_e(k)$) 그리고 본 연구에서 제안하는 잔여반향 감쇠함수 출력신호(그림 6의 $\hat{r}_e(k)$)의 전력 스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 나타낸 것이다.

실험은 제4장의 실험 및 결과고찰에 주어진 실험조건 및 설정에 따라 하였다. 샘플링 주파수는 8 kHz이다. 저주파 성분에서 큰 전력을 갖던 추정 오차신호가 선형예측오차 필터의 출력(잔여반향 백색화)후 거의 백색화되었음을 그림 7에서 알 수 있다. 그러나 극히 저주파 영역(0.1 kHz 이하)이 아직도 백색화되지 않았음을 알 수 있다. 또 부가적인 잔여반향 감쇠를 통하여 거의 이것은 백색화되었다. 그리고 잔여반향 감쇠부의 출력신호가 잔여반향 백색화 필터의 출력신호보다 약 4 dB 낮아졌다.

그림 5에서 제안하는 잡음 감쇠 함수는 비동시통화 구간의 잡음신호의 값은 동시통화 구간의 음성신호에도 같은 수준으로 혼재한다는 원리에 의해서 제안되었다.

그러므로 동시통화구간일 때의 잡음신호가 혼재된 음성신호의 전력의 평균과 비동시통화 구간일 때의 잡음신호의 전력의 평균을 추정해내어 저장해 둔 후 이러한 값을 바탕으로 아래와 같은 방법으로 비동시통화 구간과 동시통화 구간의 잡음을 감쇠시킨다.

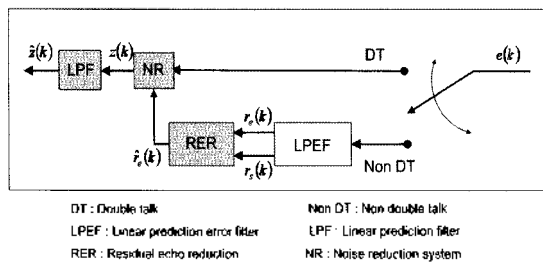


그림 5. 제안하는 잔여반향 및 잡음 제거 구조
Fig. 5. Proposed structure of residual echo and noise cancellation.

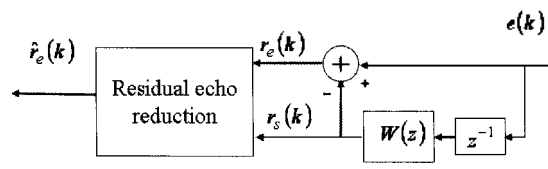


그림 6. 선형예측 오차필터 및 잔여반향 감쇠
Fig. 6. Linear prediction error filter and residual echo reduction.

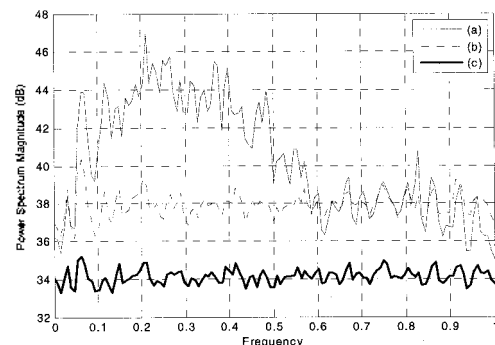


그림 7. 전력 스펙트럼 밀도 (a) 추정 오차신호 (b)잔여반향 백색화 출력신호 (c) 잔여반향 감쇠 출력신호
Fig. 7. Power spectral density (a) Error signal (b) Output signal of residual whitening filter (c) Output signal of residual echo reduction.

잡음 감쇠 함수는 다음과 같다. 동시통화구간에서의 잡음이 혼재된 근단화자 신호의 평균 전력은 식 (4)와 같다.

$$A_e = E\{e^2(k)\} = E\{(v(k) + r(k) + n(k))^2\} \quad (4)$$

비동시통화 구간에서의 잔여반향 감쇠 함수의 출력 신호의 평균 전력은 식 (5)와 같다.

$$B_e = E\{\hat{r}_e^2(k)\} \quad (5)$$

식 (4), 식 (5)를 이용하여 동시통화구간에서는 식 (6)과 같은 잡음 감쇠 함수를 적용하고 비동시통화 구간에서는 식 (7)과 같은 잡음 감쇠 함수를 적용한다.

$$z(k) = \frac{A_e}{A_e + B_e} e(k) \quad : \text{DT durations} \quad (6)$$

$$z(k) = \frac{A_e}{A_e + B_e} \hat{r}_e(k) \quad : \text{Non DT durations} \quad (7)$$

잡음 감쇠 함수를 거친 비동시통화시의 배경잡음 및 잔여반향신호는 거의 백색 가우시안잡음으로 볼 수 있기 때문에, 그림 5에서 설명했듯이 추가적으로 선형예측기를 통하여 이 잡음은 거의 제거될 수 있다. 이 때, 동시통화시의 근단화자 신호도 선형예측기를 통과하여 왜곡되는 단점은 있다.

IV. 실험 및 결과고찰

시뮬레이션을 위한 원단화자 신호와 근단화자 신호는 8 kHz 샘플링 주파수를 가지며 16 bit로 양자화 한 10초 길이의 남성화자가 발생한 영어 문장을 사용하였다. 또한 주변 잡음신호 $n(k)$ 는 원단화자의 신호 대 잡음비가 30 dB인 백색 가우시안 (white Gaussian) 잡음신호와 유색 잡음신호의 두 경우에 대하여 실험하였다. 이때 유색 잡음신호는 백색 가우시안 잡음신호의 AR (autoregressive) 필터링을 통해 구하였다. 이때 AR필터의 주파수 응답은 식 (8) [10][11]과 같고 원단화자의 신호 대 잡음비가 30 dB가 되도록 설정하였다.

$$H(z) = \frac{1}{1 - 0.8z^{-1}} \quad (8)$$

시뮬레이션에 사용된 음향 반향 임펄스 응답은 PC 들이 놓인 작은 사무실에서 스피커에서 1 cm 떨어진 곳에서의 음압이 98 dB SPL이고 마이크에서의 음압이 80 dB SPL 이 되는 백색잡음을 발생시켜 512차 NLMS 알고리즘으로 반향경로의 임펄스 응답을 추정하였으며, 그림 8에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 적응필터의 차수는 512차로 지정하고 NLMS 적응 알고리즘의 적응상수 μ 는 0.125로 설정하였다.

비동시통화 구간의 추정 오차신호에 적용되는 선형 예측 오차 필터의 선형 예측기 차수는 16차로 지정하였으며, 256샘플마다 Levinson-Durbin 알고리즘 [12]으로 계수를 업데이트했다. 잔여반향 감쇠 함수는 256샘플을 단위로 선형 예측 값의 평균과 선형 예측 오차 값의 평균을 추정하여 잔여반향 감쇠 함수에 적용했다. 잡음 감쇠 함수 또한 256샘플 단위로 신호의 전력을 추정하여 적용했다. 이때 초기 비동시통화 구간에서는 동시통화구간의 잡음이 혼재된 근단화자 신호의 평균 전력을 알지 못하므로 잡음이 혼재된 근단화자 신호의 평균 전력대신 비동시통화 구간의 잔여반향 감쇠 함수의 출력 신호의 평균 전력을 사용했다. 선형 예측기를 통한 추가적인 잡음 제거는 오버랩 인자 (overlapping factor)를 50%로 가지는 256샘플 크기의 프레임단위에 해닝 윈도우 (hanning window)를 씌워 16차 선형 예측기를 통해 동시통화 구간과 비동시통화 구간의 선형 예측 값을 구한 후 다시 오버랩하여 최종 출력 값을 구한다. 제안된 시스템의 성능평가를 위하여 AIC (acoustic interference cancellation)를 사용하였다 [3].

$$\begin{aligned} AIC(k) &= 10 \log_{10} \frac{E\{y^2(k)\}}{E\{\hat{z}^2(k)\}} \\ &= 10 \log_{10} \frac{E\{y^2(k)\}}{E\{y^2(k) - \hat{z}^2(k)\}} \quad [dB] \end{aligned} \quad (9)$$

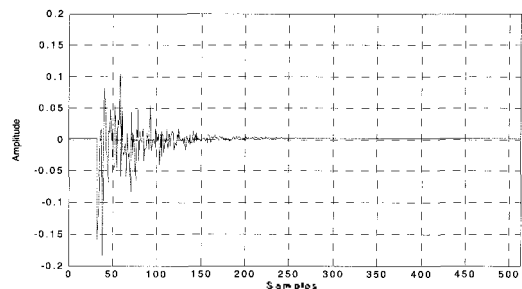


그림 8. 음향 반향의 임펄스 응답
Fig. 8. Echo path impulse response.

여기서 $\hat{i}(k) = \hat{d}(k) + \hat{r}(k) + \hat{n}(k)$ 는 제안된 시스템에 의해서 추정된 반향, 추정된 잔여반향, 추정된 배경 잡음을 포함하는 추정된 간섭신호 전체를 의미한다. 이는 음향 반향과 배경 잡음 등의 간섭신호가 포함된 마이크 입력신호 $y(k)$ 와 제안된 시스템을 통과한 후 전송되는 신호 $\hat{z}(k)$ 의 전력비를 의미하는 것으로, 음향 반향과 배경잡음이 많이 제거 될수록 큰 값을 갖는다. 즉 비동시통화 구간에서는 AIC값이 크면 클수록 음향 반향과 배경 잡음이 많이 제거됨을 의미한다.

그림 9는 30 dB 백색 가우시안 잡음에서의 AIC 성능을 나타낸 것으로 (a)는 음향 반향 제거기만 사용한 경우 (b)는 기존의 잔여반향 백색화 필터와 잡음 감쇠 함수가 적용된 경우이고 (c)는 기존의 잔여반향 백색화 필터와 잔여반향 감쇠 함수, 잡음감쇠 함수가 적용된 것 (알고리즘 (1))이며 (d)는 제안하는 알고리즘 (2)으로 잔여반향 백색화 필터와 잔여반향 감쇠 함수, 잡음 감쇠 함수 그리고 추가적인 선형 예측기를 적용한 경우이다.

알고리즘 (1)은 5.7~10초의 비동시통화 구간에서 (a) 방법보다 평균 20 dB, 기존의 (b)방법보다 평균 2 dB의 높은 AIC를 얻었다. 제안하는 알고리즘 (2)은 5.7~10초의 비동시통화 구간에서 (a)방법보다 평균 40 dB, 기존의 (b)방법보다 평균 18 dB의 높은 AIC를 얻었다.

동시통화 구간에서 근단화자의 묵음구간에서는 잡음 제거의 효과로 인하여 제안하는 알고리즘 (2)가 (a)보다 AIC가 평균 8 dB 정도 성능이 향상되었고 (b)보다도 AIC가 평균 2 dB 정도 성능이 향상 되었다. 그림 9에서 동시통화구간을 확대한 그림이 그림 10이다.

그림 9에서 동시통화구간을 확대한 그림이 그림 10이다. 그림 10에서 유성을 구간에서 모든 비교 알고리즘이 거의 같은 AIC를 보이고 있고, 무성음이나 비음성구간은 비동시구간과 같이 알고리즘 (1) 및 제안하는 알고리즘 (2)가 조금 더 우수한 AIC를 보였다.

그림 11은 30 dB 유색 잡음상황에서의 AIC 성능을 나타낸 것이다. 본 논문에서 알고리즘 (1)은 (a)보다 평균적으로 20 dB가량 높은 AIC 성능을 보이고 있으며 (b)보다도 평균적으로 AIC가 8 dB 향상 되었다. 알고리즘 (2)는 (a)보다 평균적으로 45 dB 가량 높은 AIC 성능을 보이고 있으며 (b)보다도 평균적으로 AIC가 25 dB 향상 되었다. 그림 10 과 그림 11을 비교하였을 때 유색잡음 상황에서 더 높은 AIC성능을 보이고 있는데 이것은 유색잡음이 잔여반향 백색화 필터에서 유색잡음이 잔여반향과 마찬가지로 백색화 되고 잔여반향 감쇠 알고리즘에서 사용된 선형예측 값과 선형 예측 오차 값에도 영향을 줌으로써

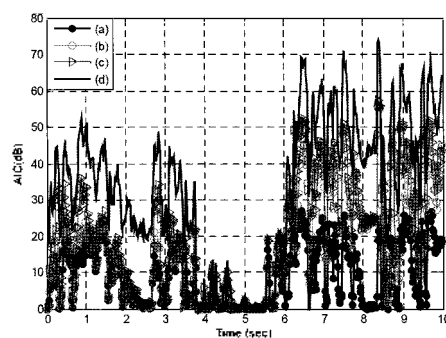


그림 9. AIC 비교 (30 dB 백색 가우시안 잡음) (a) AEC 시스템 (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (알고리즘 (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (제안하는 알고리즘 (2))

Fig. 9. AIC comparison (30 dB white Gaussian noise) (a) AEC system (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (algorithm (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (Proposed algorithm (2)).

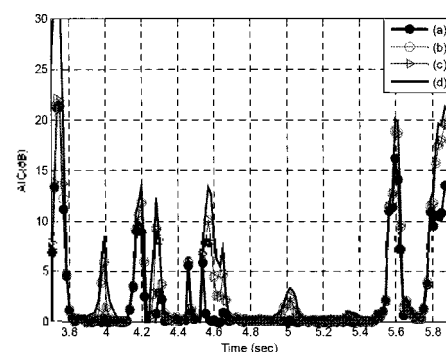


그림 10. 그림 9에서 동시통화 구간 확대 그림 (a) AEC 시스템 (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (알고리즘 (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (제안하는 알고리즘 (2))

Fig. 10. Enlarged plot from Fig. 9 at the double-talks (a) AEC system (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (algorithm (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (Proposed algorithm (2)).

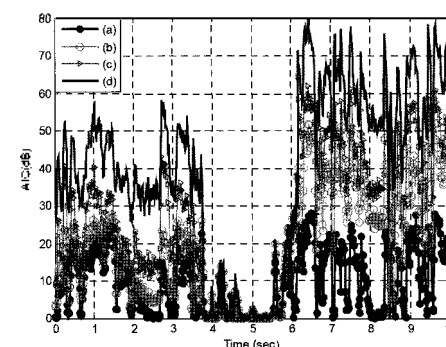


그림 11. AIC 비교 (30 dB 유색 잡음) (a) AEC 시스템 (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (알고리즘 (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (제안하는 알고리즘 (2))

Fig. 11. AIC comparison (30 dB colored noise) (a) AEC system (b) AEC+LPEF+NR (c) AEC+LPEF+RER+NR (algorithm (1)) (d) AEC+LPEF+RER+NR+LP (Proposed algorithm (2)).

더 큰 잡음 제거 효과를 보이는 것으로 보인다.

동시통화구간에서는 원단화자 신호 대 잡음비가 30 dB의 백색잡음일 때와 크게 다르지 않게 제한한 구조가 다른 기존의 두 구조보다 우수하다. 이것은 선형 예측기가 유색잡음일 때도 일정 수준의 잡음제거 성능을 보이기 때문이라고 생각된다.

V. 결론

본 논문에서는 잔여반향과 주변 잡음을 동시에 효과적으로 제거하기 위한 시간영역 후처리 구조를 제안한다. 제안하는 구조는 기존의 동시통화 검출기로 구분된 비동시통화 구간에 적용된 잔여반향 백색화 과정을 기반으로 하여 여전히 남아있는 잔여반향과 잡음을 제거하기 위한 새로운 구조로 잔여반향 감쇠 알고리즘, 잡음 감쇠 함수, 추가적인 잡음 감쇠를 위한 선형 예측기를 포함한다. 제안하는 잔여반향 감쇠 알고리즘은 선형 예측기의 백색 가우시안 잡음이 혼재된 음성신호에서의 백색 가우시안 잡음 제거 특성을 이용하여 잔여반향의 예측 신호와 잡음의 전력을 각각 추정하여 구한 함수를 백색화된 잔여반향 신호에 적용시켜 남아있는 잔여반향의 전력을 잡음의 전력 수준으로 낮추었다. 또한 동시통화 구간의 근단화자 신호에 혼재된 잡음 및 비동시통화 구간의 잔여반향이 감쇠된 잔여반향 백색화 신호와 잡음신호가 제안된 새로운 잡음 감쇠 함수에 의해 크게 감쇠되었다. 또한 잡음감쇠 함수를 통과한 후에도 남아있는 잡음신호가 추가적으로 도입된 선형 예측기에 의해 감쇠 되었다. 컴퓨터 시뮬레이션 통해 30 dB 백색 가우시안 잡음과 30 dB 유색 잡음의 상황에서 제안하는 구조가 기존의 구조보다 AIC 측면에서 성능이 우수함을 검증했다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. S. H. Jensen, "Acoustic Echo Canceller for Hand-free Mobile Radiotelephony," *Proc. EUSIPCO*, Belgium, pp.1629-1632, Aug. 1992.

2. V. Turbin, A. Gilloire, and P. Scalart, "Comparison of Three Post-filtering Algorithms for Residual Acoustic Echo Reduction," *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol.1, pp. 307-310, Apr. 1997.

3. Seon Joon Park, Chom Gun Cho, Chungyong Lee, Dae Hee Youn, "Integrated Echo and Noise Canceller for Hands-free applications" *IEEE Trans. Analog and Digital Signal Processing*, vol. 49, no. 3, pp. 188-195, March 2002.

4. Marco Liem, O. Manck, "Architecture of a Single Chip Acoustic Echo and Noise Canceller Using Cross Spectral Estimation" *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. 2, pp. 637-640, Apr. 2003.

5. "Enhanced Variable Rate Codec, Speech Service Option 3 for Wideband spread Spectrum Digital Systems," *Telecommunications Industry Association, TIA/EIA/IS-127*, 1997.

6. B. Widrow, et.al, "Stationary and Nonstationary Learning Characteristics of the LMS Adaptive Filter," *Proc. IEEE*, vol. 64, no. 8, pp. 1151-1162, Aug. 1976.

7. P. Ahgren and A. Jakobsson, "A Study of Doubletalk Detection Performance in the Presence of Acoustic Echo Path Changes" *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 52, no.2, pp.515-522, May 2006.

8. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, N. J., 1995.

9. A. Kawamura, K. Fujii, Y. Itoh, and Y. Fukui, "A Noise Reduction Method based on Linear Prediction Analysis," *IEICE Trans. A*, vol. 185-A, no. 4, pp. 415-423, Apr. 2002.

10. K. Mayyas and Tyseer Aboulnasr, "Leaky LMS Algorithm : MSE Analysis for Gaussian Data," *IEEE Transaction on signal processing*, vol.45, no.4, Apr. 1997.

11. Tyseer Aboulnasr and K. Mayyas, "A Robust Variable Step-Size LMS-Type Algorithm: Analysis and Simulation," *IEEE Transactions on signal processing*, vol.45, no.3, Mar. 1997.

12. E. Hansler and G. Schmidt, *Acoustic Echo and Noise Control A Practical Approach*, Wiley Interscience, pp. 64-65, 2004.

저자 약력

•황 경 록 (Kyung-Rok Hwang)

2007년 : 부산대학교 전자공학과(학사)
2009년 : 부산대학교 전자공학과(석사)
*관심분야: 적응신호처리, 음향 및 음성신호처리

•손 경 식 (Kyung-Sik Son)

1973년 : 부산대학교 전자공학과(학사)
1977년 : 부산대학교 전자공학과(석사)
1985년 : M.S. in Electrical Eng., The University of Alabama, USA,(석사)
1991년 : 경북대학교 전자공학과(박사)
1996년~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
*관심분야: 적응신호처리, 음향 및 음성신호처리

•김 현 태 (Hyun-Tae Kim)

1989년 : 부산대학교 전자공학과(학사)
1995년 : 부산대학교 전자공학과(석사)
2000년 : 부산대학교 전자공학과(박사)
2002년~현재 : 동의대학교 멀티미디어공학과 부교수
*관심분야: 음성 및 음성신호처리, 멀티미디어신호처리, 입체음향