

잡음제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 적응 음향반향제거기의 성능 향상

박재우*, 안주원*, 권기룡**, 문광석*, 김강언*

* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

** 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학부

Performance Improvement of the Wavelet Transform Based Adaptive Acoustic Echo Canceller with Noise Cancellation Property

Jae-woo Park*, Jou-won Ahn*, Ki-ryong Kwon**, Kwang-seok Moon*, Kang-eun Kim*

* School of Elec., Computer and Telematic Eng., Pukyong National Univ.

** School of Elec. and Computer Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

요약

현대의 잡음이 많은 환경에서 적응 음향반향제거기는 배경잡음의 영향으로 원활한 통화환경을 제공할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 음향반향 제거와 더불어 배경잡음을 제거하는 결합구조의 적응 음향반향제거기가 제안되었다. 본 논문에서는 기존의 결합구조가 가지는 단점을 보완하여 적응 음향반향제거기의 성능을 향상시켰다. 제안한 결합구조는 적응 음향잡음제거기의 기준입력 신호를 적응 음향잡음제거기의 오차신호와 함께 구성함으로써 배경잡음 신호뿐만 아니라 잔여반향 신호도 효율적으로 제거할 수 있다. 성능 평가를 위한 실험결과, 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 ERLE 성능이 수렴 구간에서 3dB 이상 향상되었음을 확인하였다.

I. 서론

핸즈프리(hands-free)나 원거리 화상회의와 같은 응용분야에서, 음향반향은 시스템의 품질을 저하시키는 주된 요인이다. 이러한 문제점은 음향반향경로로 언급되는 시변 전달함수가 스피커와 입력 마이크로폰 사이에 존재하기 때문에 발생한다[1]. 부자연스러운 통화상태를 야기하는 음향반향을 효과적으로 제거하기 위한 방법은 반향경로가 미지의 시변 시스템이므로 적응필터의 개념[2]을 이용한 적응 음향반향제거기(adaptive acoustic echo canceller)를 사용하는 것이다. 적응 필터링 방식은 응용하고자 하는 배경환경에 대한 구체적인 정보 없이도 스스로 필터계수를

조절하여 최적치를 찾아내는 방식이다[3]. 이 방법은 적응필터를 사용하여 반향경로의 임펄스 응답을 매시간 추정하고 이로부터 반향신호를 만들어 빼주기 때문에 반향성분이 효과적으로 제거된다. 그러므로 기존의 다른 방법들에서 발생하는 통화의 부자연성과 음질저하 등이 효과적으로 제거되기 때문에 반향문제를 해결할 수 있는 궁극적인 방법이다.

그러나, 현대의 잡음이 많은 환경에서의 응용은 배경잡음의 영향으로 음향반향제거기는 원활한 통화환경을 제공할 수 없다[4]. 특히 자동차 엔진의 경우, 주변에 항상 존재하는 자동차 엔진 잡음은 주된 배경잡음으로 작용하므로 근대화 신호는 이러한 엔진잡음에 의해 저감이 되어 원단으로 전송되어 진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Polyphase FFT 알고리즘을 기반으로 한 ANC(acoustic noise canceller) 결합구조와 웨이브릿변환을 기반으로 한 ANC 결합구조가 제안되었다[5,6].

본 논문에서는 기존의 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기의 성능을 향상시키기 위하여 새로운 결합구조를 가진 적응 음향반향제거기를 제안한다. 제안한 적응 음향반향제거기는 적응 음향잡음제거기의 기준입력 신호를 적응 음향반향제거기의 오차신호와 함께 구성함으로써 기존의 방법에 비해 배경잡음 신호뿐만 아니라 잔여반향 신호도 효율적으로 제거할 수 있었다. 또한, 계산량을 감소시키고 수렴속도를 개선하기 위한 방법으로 입력신호를 대역별로 분할한 후 수행하는 서브밴드 적응필터링 방법으로 웨이브릿변환 필터뱅크를 사용하였다[7].

II. 기존의 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기

핸즈프리 통화환경에서 배경잡음의 영향으로 근단화자 신호는 항상 오염이 되어져 있다. 근단화자 신호와 잡음은 일반적으로 상관관계가 없기 때문에, AEC 적응 필터는 배경잡음을 제거할 수 없다. 따라서, 잔여반향 오차신호는 항상 잡음을 포함하고 있다. 이 오차가 AEC 적응 필터로 교환이 되어 계수 오적응(misadjustment)의 결과를 초래하여 반향제거의 성능을 저하시키게 된다. 또한, 근단의 잡음은 원단화자에게 있어 불편한 통화환경의 원인이 되므로, 근단에 존재하는 배경잡음을 줄이기 위해서 ANC 시스템을 도입하게 된다.

그림 1은 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기로 두 개의 적응필터로 구성된다. 하나는 음향반향을 제거(acoustic echo canceller ;AEC)하기 위하여 사용하고, 다른 하나는 음향잡음을 제거(acoustic noise canceller ;ANC)하기 위한 것이다. 원단화자 신호가 존재할 때만 AEC의 필터링을 수행하고 동시통화 상황의 경우에는 AEC의 필터계수 적응을 중지하며, 이전의 필터계수 값으로 반향을 제거한다. 그리고, 잡음의 특성을 파악하기 위하여 원단 또는 근단화자의 신호가 없을 때에만 ANC의 계수적응을 수행하고, 원단 또는 근단화자의 신호가 있을 때는 이전의 필터 출력 값으로 잡음제거를 수행한다. 그러나, 이 결합구조를 이용한 방법은 잡음의 특성을 파악하기 위하여 원단 또는 근단화자의 신호가 없을 때에만 ANC의 필터링을 수행하고, 원단 또는 근단화자의 신호가 있을 때는 이전의 필터 출력 값으로 사용함으로써 잡음제거에 제약성이 있게 된다.

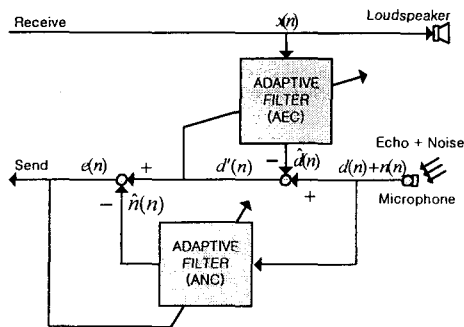


그림 1. 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기

III. 제안한 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기

1. 웨이브릿변환

음향 반향제거를 위하여 사용하는 적응 필터가 수천 탭의 필터계수를 갖는 매우 큰 FIR (finite impulse response) 필터로 되어 있을 때에는 계산량이 매우 많아지고, 실시간의 구현에 많은 제약을 받게되며 수렴속도가 느려져 알고리즘의 성능이 떨어진다. 따라서 계산량을 줄이기 위한 방법으로 입력신호를 대역별로 분할한 후 수행하는 서브밴드(subband) 적응필터링 방법이 사용된다. 따라서, 본 논문에서는 서브밴드 적응필터링을 위하여 웨이브릿변환 필터뱅크를 사용하였다.

웨이브릿변환은 시간 및 주파수에 대하여 국부성을 가지며, 비정상상태의 신호를 해석하는데 유용하다. 웨이브릿변환은 주어진 시간함수를 실수의 2차원 평면 $L^2(R)$ 공간에서 직교기저함수(orthogonal basis function)들의 집합을 형성하고 있는 웨이브릿 평면으로 투사하여 서로 다른 분해능을 갖는 신호들로 변환시킴으로서 주어진 시간함수의 신호를 각각 다른 분해능에서 해석할 수 있는 변환이다.

웨이브릿변환에서의 기저함수들은 원형 웨이브릿을 확장/수축(dilation)과 천이(translation)를 시킴으로서 만들어진다. 이에 대한 웨이브릿 기저함수들의 선형결합은

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

이다. 여기서 a 는 원형 웨이브릿을 확장/수축시키는 스케일 변수이고, b 는 천이를 나타내는 천이변수이다. 어떤 신호 $f(t)$ 에 대한 연속 웨이브릿변환(continuous wavelet transform)은

$$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

로 정의된다. 여기서 매개변수 a, b 가 정수일 때 이산 웨이브릿변환(discrete wavelet transform)이라고 한다. 특히 $a = 2^{-m}$, $b = n2^{-m}$ 일 때 정규직교기저(orthonormal basis)를 구성할 수 있고, 기저함수는

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{m/2} \psi(2^m t - n), \quad m, n \in Z \quad (3)$$

가 된다.

그림 2는 웨이브릿변환 기반 서브밴드 구조를 나타낸다.

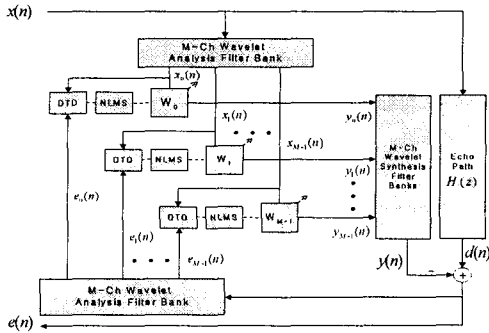


그림 2. 웨이브릿변환 기반 서브밴드 구조

2. 제안한 적응 음향잡음제거기

기존의 방법은 잡음의 특성을 파악하기 위하여 원단 또는 근단화자의 신호가 없을 때에만 ANC의 필터링을 수행하고, 원단 또는 근단화자의 신호가 있을 때는 이전의 필터 출력 값으로 사용함으로써 잡음제거에 제약성이 있게된다. 이를 개선하기 위하여 적응 음향잡음제거기의 기준 입력 신호가 적응 음향반향제거기의 주입력 신호와 같은 기존의 결합구조와 달리 적응 음향잡음제거기의 기준입력 신호를 적응 음향반향제거기의 오차신호와 같게 구성하였다. 제안한 시스템은 근단화자 신호가 존재하는 구간을 제외하고는 음향잡음제거기 필터계수의 적응이 가능하므로 기존의 방법에 비해 배경잡음의 특성을 효율적으로 파악할 수 있으며, 원단화자가 존재하는 구간에서도 필터계수의 적응이 수행되므로 잔여반향 신호에 대하여도 반향제거가 이루어질 수 있다. 그림 3은 제안한 새로운 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기를 나타낸다. 근단의 반향 신호 $d(n)$ 과 배경잡음 신호 $n(n)$ 의 합성신호 $d(n) + n(n)$ 이 AEC에 의하여 반향만 제거되고, 잔여 신호 $d'(n)$ (잔여반향 신호+배경잡음 신호)은 다시 ANC의 기준입력 신호로 인가되어 배경잡음 신호와 잔여반향 신호가 제거된다. 제안한 결합구조에 의하여 잡음 및 잔여반향 제거 수행 후 얻어진 최종오차 신호 $e(n)$ 은 기존의 방법에 의하여 얻어진 오차신호에 비하여 잡음 신호 전력 면에서 효율적으로 제거된 후 원단으로 전송되어 지게 된다.

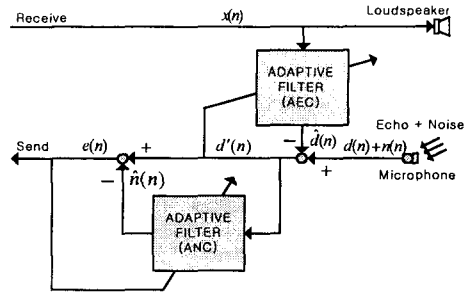


그림 3. 제안한 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기

IV. 실험결과 및 고찰

본 절에서는 자동차 핸즈프리 통신환경에서 웨이브릿변환에 기반한 제안한 새로운 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 근단 및 원단화자의 신호로는 실제 음성신호를 인가하고, 배경잡음으로는 자동차 실내환경에서 주된 잡음인 엔진잡음을 인가하였다. 이 신호들은 10 kHz, 16비트 양자화된 신호이다. 제안한 시스템에서 음향반향로의 임펄스 응답은 512탭의 임펄스 응답을 가지고, 서브밴드 필터뱅크로는 웨이브릿 트리구조를 사용하였다. 서브밴드는 16채널로 분할하였다. 대역분할을 위한 필터로는 Daubechies 4탭 웨이브릿 필터를 사용하였다.

그림 4는 원단화자 신호와 배경잡음 신호가 합성된 신호이다. 그림 5는 기존의 음향반향제거기만을 사용한 방법과 기존 결합구조를 사용한 방법, 그리고 제안한 방법에 대하여 근단 입력 신호와 최종오차 신호의 ERLE (echo return loss enhancement) 값으로 성능을 평가하였다. (a)는 기존의 음향반향제거기만을 사용했을 경우의 ERLE 곡선을 나타낸다. ERLE 값이 작게 얻어짐으로써, 단순히 음향반향제거기만을 사용한 경우 잡음을 제거하지 못한 상태로 전송이 되어 짐을 알 수가 있다. (b)는 기존의 결합구조를 사용했을 경우이며, 배경잡음까지 제거되어짐으로써 ERLE 값이 음향반향제거기만 사용하였을 경우보다는 크게 얻어지지만 제안한 방법에 비하여 작게 얻어짐을 볼 수가 있다. (c)는 제안한 결합구조를 사용한 경우이며, ERLE 값이 평균 3dB 이상 크게 나타남으로써 기존의 결합구조를 사용했을 때보다 배경잡음뿐만 아니라 잔여반향 신호까지 효율적으로 제거됨을 확인할 수가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 자동차 핸즈프리 통화환경에서 잡음제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 적응 음향반향제거기의 성능 향상을 제안한다. 제안한 시스템은 배경잡음의 특성을 효율적으로 파악하기 위하여 음향잡음제거기의 기준입력 신호를 적응 음향반향제거기의 오차신호와 같은 새로운 결합구조로 구성하였다. 제안한 적응 음향반향제거기의 성능평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 원단과 근단화자 신호에는 실제 음성신호를 인가하였고, 배경잡음은 자동차 엔진잡음을 인가하였다. 실험 결과로써, 제안한 방법이 기존의 결합구조를 갖는 적응 음향반향제거기에 비하여 배경잡음뿐만 아니라 잔여반향 신호도 효율적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.

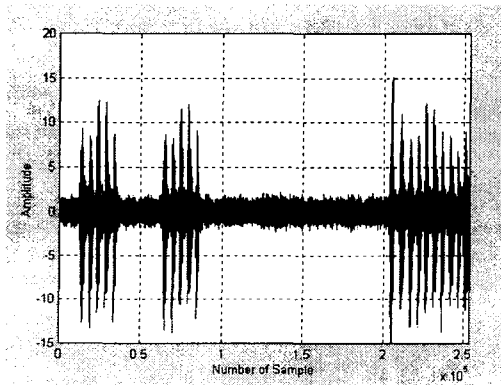


그림 4. 음향반향+배경잡음 신호

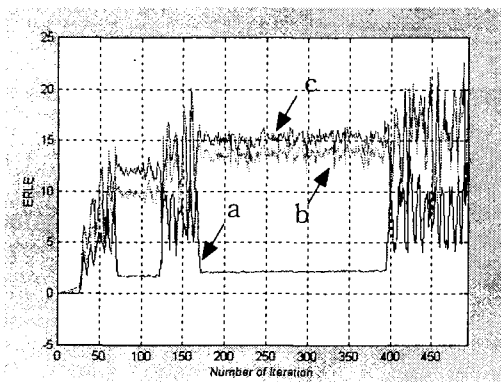


그림 7. ERLE 곡선

- (a) 음향반향제거기만 사용한 경우
- (b) 기존의 결합구조를 사용한 경우
- (c) 제안한 결합구조를 사용한 경우

참 고 문 헌

- [1] M. Taherzadhi, R. Yellapantula, "A Subband AEC Coupled Engine Noise Cancellation," *Proc. IEEE*, vol. 2, pp.241-244, May 1996.
- [2] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1985.
- [3] B. Widrow, et al., "Adaptive noise cancelling : Principles and applications," *Proc. IEEE*, pp.1692- 1716, Dec. 1975.
- [4] Regine Le Bouquin Jeannes, Gerard Faucon, "How to Reduce the Noise Influence in a Joint System Developed for Echo and Noise Cancellation," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 4, no. 10, Oct. 1997.
- [5] Sundar G. Sankaran, A. A. (Louis) Beex, "Acoustic Echo and Noise Canceller Improvevents for Hands-Free Telephones," *Proc. IEEE*, pp.148 -150, 1997.
- [6] 박재우, 안주원, 권기룡, 문광석, 김강언"잡음 제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 서브밴드 적응 음향반향제거," *신호처리종합학술대회 논문집*, vol.13, no.1, pp.7-10, 2000. 9.
- [7] 안주원, 허영대, 문영득, 권기룡, 문광석, "웨이브릿변환 필터뱅크를 이용한 적응 음향반향제거," *한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집*, vol.16, no.1, pp.807-810, 1997. 7.