잡음제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 서브밴드 적응 음향반향제거기

박 재 우*, 안 주 원*, 권 기 룡**, 문 광 석*, 김 강 언*

* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
** 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학부

The Wavelet Transform Based Subband 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

e-mail : parkjw@mail1.pknu.ac.kr

요 약

This paper focuses on the development of speech enhancement techniques for hands-free audio terminals, including two major problems : *noise cancellation and acoustic echo cancellation*. The objective is to find a *joint structure* to get a near-end speech signal with minimum distortion and low levels of echo and noise. To solve the two problems, a new promising technique is studied and tested in computer simulation conditions.

Ⅰ.서 론

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 임펄스응답을 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 방법이라 할 수 있다.

그러나, 현대의 잡음이 많은 환경에서의 응용은 배경잡음의 영향으로 음향반향제거기는 원활한 통화환경을 제공할 수 없다[4]. 자동차 핸즈프리의 경우, 주변에 항상 존재하는 자동차 엔진잡음이 불편한 통화환경의 주된 원인으로 작용한다[5,6]. 따라서, 이러한 배경잡음을 효율적으로 제거할 수 있는 시스템이 필요하다. 기존의 적응 음향반향제거기에서는 근단화자 신호가 배경잡음에 의해 저감이 되어서 원단으로 전송이 되어지는데, 이 잡음은 통화환경 주변의 어디에나 존재하므로 음향반향제거기의 적응은 반드시 이러한 영향하에서 수행이 되어진다. 그러므로, 적응 음향반향제거기 상에서 잡음을 제거할 수 있는 ANC(acoustic noise canceller)를 도입한 새로운 결합구조가 필요하다[7].

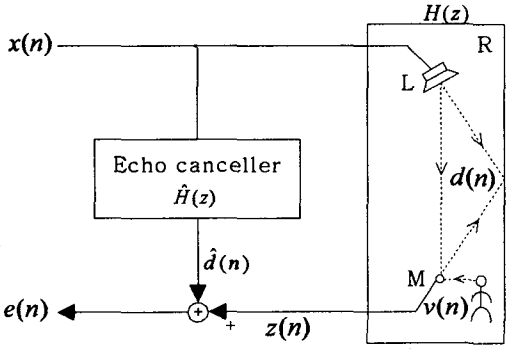
일반적으로 음향반향제거에 사용하는 적응필터가 수천 탭의 필터계수를 갖는 매우 큰 FIR 필터로 되어 있을 경우에는 계산량이 매우 많아지고, 실시간의 구현에 많은 제약을 받게되며 수렴속도가 느려져 적응 알고리듬의 성능이 떨어진다. 따라서 계산량을 감소시키고 수렴속도를 개선하기 위한 방법으로 입력신호를 대역별로 분할한 후 수행하는 서브밴드 적응필터링 방법이 사용된다[8].

본 논문에서는 자동차 핸즈프리 통화환경에서의 잡음제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 적응 음향반향제거기를 제안한다. 제안한 시스템은 ANC의 사용으로 근단에 존재하는 배경잡음만을 효율적으로 제거하여 근단화자 신호가 원단화자에게 더 유쾌하게 들릴 수 있게 함으로써 원활한 통화 환경을 제공한다. 또한, 웨이브릿변환 필터뱅크의 적은 계산량과 서브밴드 처리 및 주어진 신호의 완전 분해·복원 성질에 의해 실시간 처리가 가능하고, 적응 음향반향제거기의 수렴성능을 향상시킨다.

II. 적응 음향반향제거기

적응 음향반향제거는 반향경로를 매 시간마다 추정하여 새로 생성된 반향성분만을 제거하는 방법으로서, 적응 음향반향제거의 원리는 그림 1에서와 같다. 여기서 L은 라우드스피커이며, M은 마이크로폰 및 R은 실내공간이다.

$z(n)$은 반향경로를 통과한 기준입력신호인 원단화자(far-end speaker)의 음성신호 $d(n)$과 근단화자(near-end speaker)의 음성신호 $v(n)$이 더해진 주입력신호이고, $\hat{d}(n)$은 반향제거기의 출력신호이다. $e(n)$은 반향경로를 통과한 반향신호 $d(n)$에서 반향제거기의 출력신호 $\hat{d}(n)$을 뺀 반향성분이 제거된 추정오차신호이다. 그리고, $H(z)$는 음향반향시스템의 전달특성이며, $\hat{H}(z)$는 미지의 반향경로 $H(z)$를 추정하는 반향제거필터로써 적응필터를 사용한다.



L: Loudspeaker, R: Room, M: Microphone

그림 1. 음향 반향 제거의 원리

III. 제안한 적응 음향반향제거기

1. 웨이브릿변환

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

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

이다.

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

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

로 정의된다. 여기서 매개변수 a, b가 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

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

가 된다.

그림 2는 웨이브릿변환 기반 서브밴드 적응시스템의 구조를 나타낸다.

2. 적응 음향잡음제거기

자동차 핸즈프리 통화환경에서 주된 배경잡음으로 인지되는 엔진잡음은 통화를 방해하는 요인으로 작용한다. 즉, 근단화자 신호 $v(n)$은 항상 이러한 잡음에 오염이 되어져 있다.

근단화자 신호와 잡음은 일반적으로 상관관계가 없기 때문에, AEC 적응 필터는 배경잡음을 제거할 수 없다. 따라서, 잔여반향 오차신호 $e(n)$은 항상 잡음을 포함하고 있다. 이 오차가 AEC 적응 필터로 궤환이 되어 계수 오적응(misadjustment)의 결과를 초래하여 반향제거의 성능을 저하시키게 된다. 또한, 근단의 잡음은 원단화자에게 있어 불편한 통화환경의 원인이 되므로, 본 논문에서는 근단에 존재하는 배경잡음 $n(n)$을 줄이기 위해서 ANC 시스템을 도입한다.

제안한 시스템은 그림 3에서와 같이 두 개의 적응필터로 구성된다. 하나는 음향반향을 제거(acoustic echo

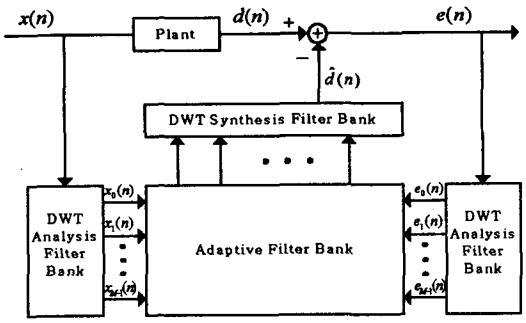


그림 2. 웨이브릿변환 기반 서브밴드 구조

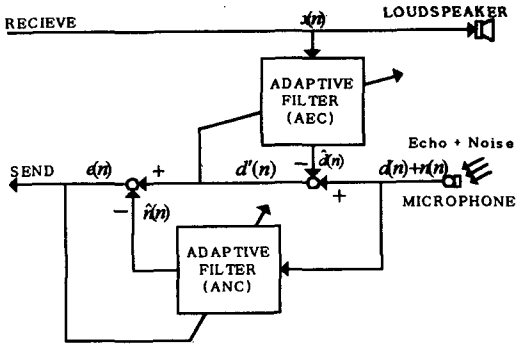


그림 3. 제안한 적응 음향반향제거기

canceller-AEC)하기 위하여 사용하고, 다른 하나는 음향잡음을 제거(acoustic noise canceller-ANC)하기 위한 것이다. 일반적으로, 근단화자 신호와 반향은 비슷한 PSD(power spectral density)를 가지고 있으며, 잡음과 음성신호의 통계학적 특성을 모르기 때문에 잡음을 제거하기 위해 적응필터가 사용되어진다.

반향제거 필터는 잔여반향 신호 $d'(n)$의 MSE(mean square error)를 최소화시키고자 한다. 이것은 반향경로의 임펄스 응답을 수렴시킴으로써 수행된다. 일단 AEC 필터가 수렴이 되면, 잔여반향 신호 $d'(n)$은 주로 잘못된 수렴(misconvergence)과 오조정에 의한 배경잡음과 일부 잔여반향으로 구성된다. 여기서, 배경잡음은 추가된 또 다른 적응 필터로 제거한다.

잡음제거 필터는 잔여잡음 신호 $e(n)$의 MSE를 최소화시키고자 한다. 잡음이 섞인 근단 신호 $d(n)+n(n)$으로부터 잡음을 추정하기 위한 인과최적해(causal optimal (wiener) solution)를 수렴시킴으로써 수행된다.

원단화자 신호가 존재할 때만 AEC의 필터링을 수행하고 동시통화 상황의 경우에는 AEC의 필터계수 적응을 중지한다. 이 때 이전의 필터계수 값으로 반향을 제거한다. 그리고, 배경잡음의 특성을 파악하기 위하여 원단 또는 근단화자의 신호가 없을 때에만 ANC의 필터링을 수행하고, 원단 또는 근단화자의 신호가 있을 때는 이전의 필터 출력 값으로 잡음을 제거한다.

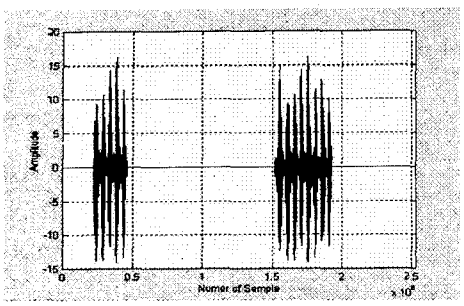
Ⅳ.실험결과 및 고찰

본 절에서는 웨이브릿변환에 기반한 제안한 적응 음향반향제거기의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 근단 및 원단화자의 신호로는 실제 음성신호인가하고, 자동차 엔진잡음을 배경잡음으로 인가하였다. 제안한 시스템에서 음향반향경로의 임펄스 응답은 512탭의 임펄스 응답을 가지고, 서브밴드 필터뱅크로는 웨이브릿 트리구조를 사용하였다. 서브밴드는 16채널로 분할 하였다. 대역분할을 위한 필터로는 Daubechies 4탭필터를 사용하였다.

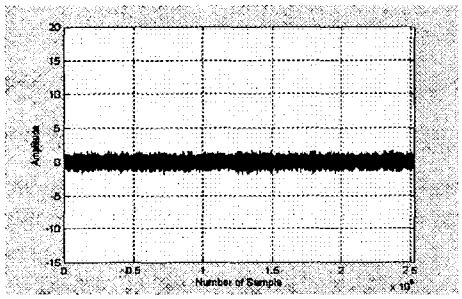
그림 4는 제안한 적응 음향반향제거기의 잡음제거 특성을 나타내고 있다. (a)는 근단화자 신호이고, (b)는 근단에 존재하는 배경잡음으로써 실제 자동차 실내에서 획득한 자동차 엔진의 잡음신호이다. (c)는 ANC로 입력되는 근단화자 신호와 배경 잡음신호가 합성된 주입력신호이다. 그리고, (d)는 제안한 적응 음향반향제거기의 출력 오차신호로써 AEC와 ANC에 의해 처리된 후 원단으로 전송되는 신호이다. (e)에서는 ERLE(echo return loss enhancement)를 사용하여, 제안한 시스템의 잡음제거 성능을 평가한다. 배경잡음만 존재하는 구간들에서는 ERLE 값이 크게 나타남으로써 효과적인 잡음제거가 이루어졌음을 알 수 있다. 그리고, 근단화자가 존재하는 약 40~85 프레임의 구간과 295~375 프레임에서는 근단화자 신호에 거의 영향을 주지 않으면서, 배경잡음이 효과적으로 제거되어졌음을 알 수 있다. 따라서, 제안한 시스템은 근단화자 신호에 거의 영향을 미치지 않고 배경잡음을 감소시킴으로 인하여 인지되는 통화의 품질을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

Ⅴ. 결 론

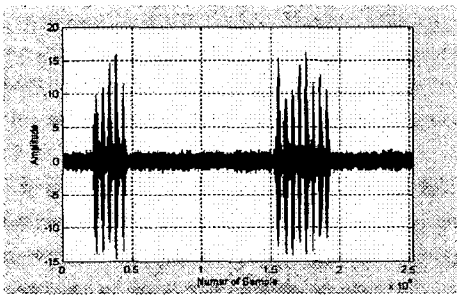
본 논문에서는 자동차 핸즈프리 통화환경에서 잡음제거 특성을 갖는 웨이브릿변환 기반 서브밴드 적응 음향반향제거기를 제안한다. 제안한 적응 음향반향제거기는 운행중인 자동차 핸즈프리 통화환경에서 항상 존재하게되는 엔진잡음을 효율적으로 제거하기 위하여 ANC를 도입한 새로운 결합구조로 구성하였다. 제안한 적응 음향반향제거기의 성능평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 원단과 근단화자 신호에는 실제 음성신호를 인가하였고, 배경잡음으로는 자동차 엔진잡음을 인가하였다. 원단에서 전송되어지는 반향신호는 AEC를 사용하여 제거하고, 배경잡음은 제안한 ANC를 사용하여 제거하였다. 실험결과로써, 제안한 적응 음향반향제거기는 근단화자 신호에 거의 영향이 없이 배경잡음만을 효율적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.



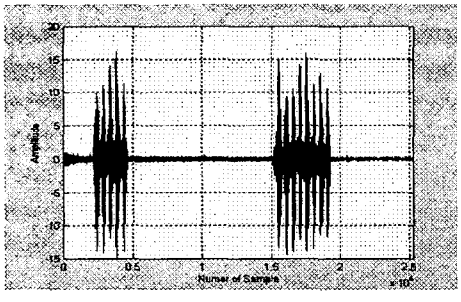
(a) 근단화자 신호



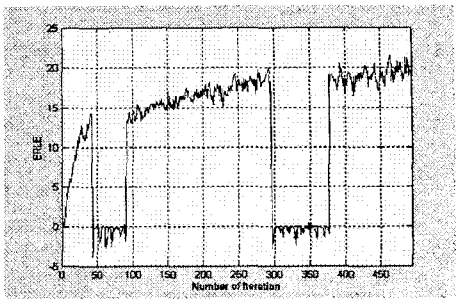
(b) 배경잡음 신호



(c) 근단화자 + 배경잡음 신호



(d) 원단으로 전송되는 최종오차신호



(e) 잡음제거 성능

그림 4. 제안한 적응 음향반향제거기의 잡음제거 특성

참 고 문 헌

[1] M. Tahernezadhi, 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] S. H. Jensen, "Acoustic Echo Cancellation for Hands-free Mobile Radiotelephony," *Proc. EUSIPCO*, Belgium, pp.1629~1632, 1992.

[6] S. M. Kuo and D. R. Morgan, "Active Noise Control Systems," John Wiley & Sons, 1996.

[7] Sundar G. Sankaran, A. A. (Louis) Beex, "Acoustic Echo and Noise Canceller Improvements for Hand-Free Telephones," *Proc. IEEE,* pp.148 -150, 1997.

[8] 안주원, 허영대, 문영득, 권기룡, 문광석, "웨이브릿변환 필터뱅크를 이용한 적응 음향반향제거," 1997년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 1997. 7.