서브밴드 동시통화 검출기를 이용한 웨이브릿변환기반 적응 음향반향제거기

안 주 원*, 권 기 룡**, 문 광 석*, 김 강 언*, 김 문 수*

* 부경대학교 전자 컴퓨터 정보통신공학부
** 부산외국어대학교 전자 컴퓨터공학부

The Wavelet Transform Based Subband Adaptive Acoustic Echo Canceller Using a Double Talk Detector

Jou-won Ahn*, Ki-ryong Kwon**, Kwang-seok Moon*,
Kang-eun Kim*, Moon-soo Kim*

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

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

요 약

본 논문에서 제안한 동시통화 검출기는 기존의 전대역에서 이루어지던 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출기의 검출성능을 향상시키기 위하여 웨이브릿변환된 각각의 서브밴드 내에서 동시통화 및 반향경로를 구별하여 효율적으로 검출할 수 있도록 구성하였다. 서브밴드 동시통화 검출기 사용으로 동시통화 시에 발생하는 적응필터의 계수 발산을 막음으로써 시스템의 안정성을 높이고, 근단화자 신호가 원단화자에게 더 유쾌하게 들릴 수 있게 함으로써 원활한 통화환경을 제공할 수 있도록 구현하였다.

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 주변환경에 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, 근단화자 신호와 원단화자 신호가 동시에 존재하는 동시통화 구간에서는 오차신호에는 잔여 반향뿐만 아니라 근단화자 신호가 존재한다. 동시통화시의 근단화자 신호는 적응필터의 계수 적응에 방해 요소로 작용하며 그 크기도 반향 신호에 비해 크기 때문에 근단화자 신호가 존재하는 구간에서 필터 계수의 적응이 계속된다면 적응필터가 발산하게 된다. 때문에 동시통화 구간에서는 필터 계수의 적응이 중단되어야 이러한 오동작을 피할 수 있다[4]. 가장 단순한 동시통화 검출기는 근단신호 z(n)이나 오차신호 e(n)의 크기를 추정하여 크기가 갑자기 커지기 시작하는 순간을 동시통화가 시작되는 구간으로 판단하는 방법이다. 그러나 근단신호와 오차신호의 증가는 반향경로가 변화한 경우에도 일어날 수 있으며, 이 경우 적응필터는 계수적응을 중단해서는 안되며 오히려 변화된 반향경로의 임펄스 응답을 빨리 추정

할 수 있도록 계수적응을 진행하여야 한다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 반향경로 변화에 민감하게 증가하는 특성을 보이는 기준입력신호와 추정오차신호 상호간의 상관도를 구하여 동시통화와 반향경로를 효과적으로 구분할 수 있는 방법이 제안되었다[5]

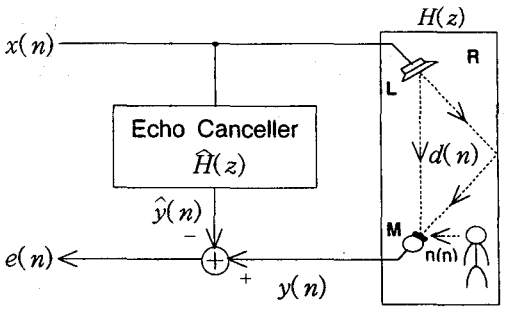
일반적으로 음향반향제거에 사용하는 적응필터가 수천 탭의 필터계수를 갖는 매우 큰 FIR 필터로 되어 있을 경우에는 계산량이 매우 많아지고, 실시간의 구현에 많은 제약을 받게되며 수렴속도가 느려져 적응 알고리듬의 성능이 떨어진다. 따라서 계산량을 감소시키고 수렴속도를 개선하기 위한 방법으로 입력신호를 대역별로 분할한 후 수행하는 서브밴드 적응필터링 방법이 사용된다[6].

본 논문에서는 서브밴드 동시통화 검출기를 이용한 웨이브릿변환기반 적응 음향반향제거기를 제안한다. 제안한 적응 음향반향제거기는 기존의 전대역에서 이루어지던 상호상관계수를 이용한 동시통화검출기의 검출성능을 향상시키기 위하여 웨이브릿변환된 각각의 서브밴드 내에서 동시통화 및 반향경로 변화를 구별하여 검출할 수 있도록 구성하였다. 동시통화 검출기의 사용으로 동시통화시에 발생하는 적응필터의 계수 발산을 막음으로써 시스템의 안정성을 높일 수 있고, 근단화자 신호가 원단화자에게 더 유쾌하게 들릴 수 있게 함으로써 원활한 통화환경을 제공할 수 있다. 그리고, 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.

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



L : Loudspeaker, R : Room
M : Microphone

그림 1. 음향 반향 제거의 원리

전달특성이며, $\hat{H}(z)$는 미지의 반향경로 $H(z)$를 추정하는 반향제거필터로써 적응필터를 사용한다.

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

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

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

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

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

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

가 된다.

2. 동시통화 검출기

시간 n에서 적응필터가 최적치에 수렴한 경우 기준입력신호 $\boldsymbol{X}(n)$과 추정오차신호 $e(n)$ 간에는 다음과 같은 직교 성질이 만족하게 된다.

$$E[e(n)\boldsymbol{X}(n)] = 0 \tag{4}$$

그리고, $e(n)$과 $\boldsymbol{X}(n)$이 평균값 0을 가진다면, 서로 상관관계가 없게 된다. 동시통화가 발생하는 경우 근단화자의 신호가 적응필터의 주입력신호에 나타나게 되고, 추정오차신호는 신호레벨이 커지게 된다. 근단화자 신호가 기준입력신호와 상관성이 없는 경우에는 식 (5)의 직교 성질이 여전히 만족된다. 그러나, 반향경로의 특성이 변화한 경우에는 직교 성질이 더 이상 만족되지 못하게된다. 이러한 이유로, 기준입력신호와 추정오차신호간의 상관도의 경우에는 동시통화시에는 변화가 없고 반향경로가 변화한 경우에는 매우 민감하게 증가한다는 사실을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 전대역에서 이루어지던 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출기의 검출성능을 향상시키기 위하여 웨이브릿변환된 각각의 서브밴드 내에서 동시통화 및 반향경로를 구별하여 검출할 수 있는 방법을 제안한다. 서브밴드 동시통화 검출기 사용으로 동시통화와 반향경로 변화의 경우를 효율적으로 검출하여 동시통화시에 발생하는 적응필터의 계수 발산을 막음으로써 시스템의 안정성을 높이고, 반향경로 변화시에는 계수적응을 빠르게 재개함으로써 원활한 통화환경을 제공할 수 있도록 구현하였다.

본 논문에서 사용한 상관도를 구하는 식들은 다음과 같다. 추정된 각 서브밴드에서의 평균 상호상관계수를 구하는 함수가 식 (5)에 나타나 있다.

$$ACC_k(n) = \left[\sum_{i=0}^{N-1} |C_{k,i}(n)| \right] / N \tag{5}$$

$$P^2_{k,e}(n) = \lambda P^2_{k,e}(n-1) + (1-\lambda) e^2_k(n) \tag{6}$$

$$P^2_{k,i}(n) = \lambda P^2_{k,i}(n-1) + (1-\lambda) x^2_k(n-i) \tag{7}$$

$$P_{k,e,i}(n) = \lambda P_{k,e,i}(n-1) + (1-\lambda) e_k(n) x_k(n-i)$$
$$(k = 0,1,2,\ldots,L) \tag{8}$$

$$C_{k,i}(n) = P_{e,i}\frac{(n)}{P_e(n) \times P_i(n)}, \quad i = 0,1,\ldots,N-1 \tag{9}$$

여기에서 $C_{k,i}(n)$은 각 서브밴드에서의 $x_k(n)$과 $e_k(n)$ 사이의 상호상관 계수이다. 그리고 N은 하나의 서브밴드에서의 필터탭 수이며, λ는 반복 추정 알고리듬의 시정수와 추정 정확도를 나타내는 지수 가중치 요소이고, L은 서브밴드의 개수이다. 시간적으로 천천히 변화하는 신호에 대하여 일반적으로 $0.9 < \lambda \leq 1$의 값이 선택된다. λ가 적을수록, 시간 변화 신호의 추적 성능이 좋아지는 반면, 추정확률은 더욱 나빠지게 된다.

제안한 동시통화 검출기는 다음과 같이 동작한다.

1) $ACC_k(n) \leq R_{th}$일 경우, 검출기는 반향제거기가 수렴되었다고 결정한다. 그리고, 반향제거기는 동시통화로 인한 영향을 막기 위하여 적응을 중지한다.
2) $ACC_k(n) > R_{th}$일 경우, 검출기는 반향제거기가 수렴되지 않았거나, 반향경로가 변화하였다고 결정함으로서 반향제거기는 적응을 계속 진행한다.

여기에서 R_{th}는 동시통화 및 반향경로 변화를 검출하기 위한 검출 문턱값이다. 선택된 문턱값이 너무 크다면 반향경로 추적이 어려울 것이고, 너무 작다면 동시통화 기간동안 계수 오조정이 클 것이다.

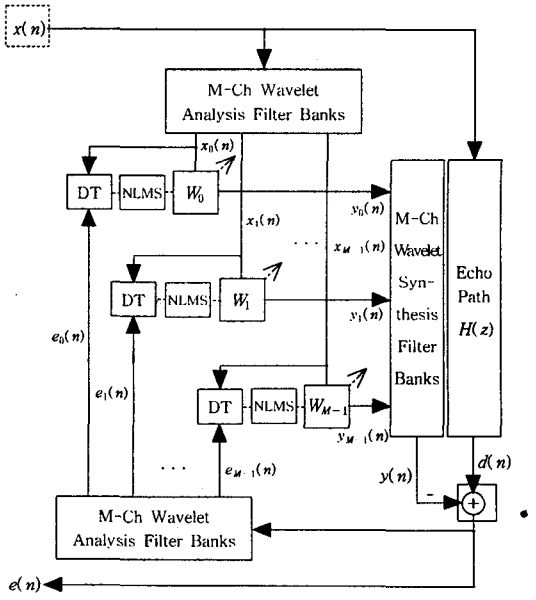


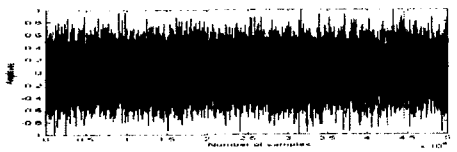
그림 2. 제안한 적응 음향반향제거기의 블록도

제안한 서브밴드 동시통화 검출기를 이용한 웨이브릿변환기반 적응 음향반향제거기에 대한 모델을 그림 2에 나타내었다. 기준 입력신호 $x_k(n)$과 오차신호 $e_k(n)$을 입력으로 하여 상호상관계수 값을 식 (5)~식 (9)를 이용하여 각 서브밴드에서 구한 다음, 어느 하나의 밴드에서라도 주어진 검출 문턱값 R_{th}이하 또는 초과할 경우에는 상기에 주어진 것처럼 적응필터의 계수적응여부를 결정하게 된다.

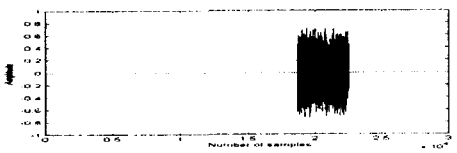
Ⅳ. 실험결과 및 고찰

본 절에서는 제안한 웨이브릿변환에 기반한 적응 음향반향제거기의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 입력신호로는 백색잡음신호를 반향신호와 근단화자 신호로써 인가하였다. 제안한 모델에서 음향반향경로의 임펄스 응답은 512탭의 임펄스 응답을 가지고. 부밴드 필터뱅크로는 웨이브릿 트리구조를 사용하였다. 서브밴드는 16채널로 분할하였다. 대역분할을 위한 필터로는 Daubechies 4탭 필터를 사용하였다.

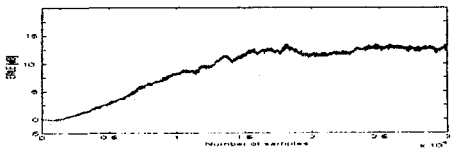
그림 3은 제안한 반향제거기의 동시통화와 반향경로 변화에 대한 수렴특성을 나타내고 있다. (a)는 입력 반향신호인 백색잡음신호이고, (b)는 동시통화신호로 가정한 백색잡음신호, (c)는 동시통화시의 제안한 동시통화검출기를 적용한 수렴특성의 결과이다. 대략 17000샘플 위치에서 동시통화가 발생하지만 약 15000 샘플 이후부터 상관도가 주어진 문턱값보다 작아짐에 따라 반향제거기가 수렴에 이르렀음으로 계수적응을 중지시켜 동시통화 기간에 계수발산 가능성을 배제시켰음을 알 수 있다. 그리고, (d)는 약 17000샘플위치에서 반향경로를 변화시켰을 경우, 상관계수가 주어진 문턱값보다 커짐에 따라 다시 계수적응을 재개하여 정상상태에 도달함을 알 수 있다.



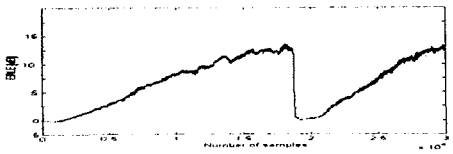
(a) 입력 신호



(b) 동시통화신호



(c) 동시통화 시의 수렴특성



(d) 반향경로 변화시의 수렴특성

그림 3. 제안한 반향제거기의 동시통화, 반향경로 변화에 대한 수렴특성

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 서브밴드 동시통화 검출기를 이용한 웨이브릿변환기반 서브밴드 적응 음향반향제거기를 제안한다. 제안한 적응 음향반향제거기는 기존의 전대역에서 이루어지던 상호상관계수를 이용한 동시통화검출기의 검출성능을 향상시키기 위하여 웨이브릿변환된 각각의 서브밴드 내에서 동시통화를 검출할 수 있도록 구성하였다. 제안한 적응 음향반향제거기의 성능평가를 위한 실험으로써 백색잡음신호를 반향신호와 근단화자신호로써 인가하였다. 동시통화시 제안한 적응 음향반향제거기의 성능이 안정됨을 알 수 있었고, 반향경로 변화시에도 안정된 수렴특성을 나타냄을 확인하였다.

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] P. C. Yip and D. M. Etter, "An adaptive multiple echo canceller for slowly time-varying echo paths," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.38, no.10, pp.1693-1480, Oct. 1990.

[5] H. Ye and B. X. Wu, "A new double-talk detection algorithm based on the orthogonality theorem," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.39, no.11, pp.1542-1545, Nov. 1991.

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