

# MINT 필터링에 의한 스테레오 음향 반향 제거기의 성능 향상

## Performance Improvement of Stereo Acoustic Echo Canceller Using MINT Filtering

차 경 환\*  
(Kyung-Hwan Cha\*)

동서대학교 인터넷공학부\*

(접수일자: 2001년 11월 21일; 채택일자: 2001년 12월 4일)

본 논문에서는 스테레오 음향 반향 제거기의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 전처리 방법의 반향 제거기를 제안한다. 제안한 반향 제거기는 MINT (Multiple input/output INverse Theorem) 필터링에 의해 실내 전달함수의 잔향이 저감되어진 입력을 사용함으로써 필터계수의 추정오차를 감소시켜 성능을 향상시킬 수 있었다. 실제의 스테레오 음성과 실제 음장의 전달함수를 사용한 시뮬레이션 결과, 제안한 방법이 NLMS (Normalized Least Mean Square)와 Projection 등의 적응 알고리즘 종류에 관계없이 ERLE가 3~5 dB 향상됨을 확인하였다.

**핵심용어:** 잔향곡선, 스테레오 반향 제거기, 역필터링

**투고분야:** 전기음향 분야 (3,4)

In this paper, a new pre-processing algorithm is proposed to improve the performance of stereo acoustic echo canceller. The proposed algorithm has the improved performance by the estimation error reduction of filter coefficient using input signal which was reduced reverberation of room in the basis MINT (Multiple-input/output Inverse Theorem) filtering. For real stereo speech signal and real room impulse response the results of simulation, we showed that the proposed method could improved 3~5 dB ERLE (Echo Return Loss Enhancement) regardless of NLMS (Normalized Least Mean Square) and Projection adaptive algorithm.

**Keywords:** Reverberation curve, Stereo acoustic echo canceller, Inverse filtering

**ASK subject classification:** Electro-acoustic (3,4)

## I. 서론

스테레오 음향 반향 제거기는 통신의 고도화에 따라 청취자에게 현장감이 가득 넘치는 고품질의 확성 전화계의 실현을 목적으로 활발히 연구가 진행되고 있다. 음향 반향 제거기는 스피커와 마이크론 사이의 임펄스 응답

을 적응필터에 의해 추정하여 의사 반향을 만들어 실제 반향에서 소거하는 것이다. 이를 위해서는 적응필터의 구성법과 적응 알고리즘이 기본 기술이 된다. 기존의 선형 결합 구조를 이용한 스테레오 음향 반향 제거기의 가장 큰 문제점은 적응 필터의 수렴이 너무 느리고 수렴 특성이 우수하지 못하다는 것이다[1]. 이것은 확성 전화계에서 마이크론을 통해서 수음된 음향성분이 스피커에서 마이크론까지의 거리에 의한 시간 지연인 직접파와 실내의 벽면과 바닥 그리고 천정에서의 다중반사에

책임저자: 차경환 (khcha@dongseo.ac.kr)  
617-716 부산광역시 사상구 주례동 산 69-1  
동서대학교 인터넷공학부  
(전화: 051-320-1759; 팩스: 051-327-8955)

의한 간섭파 (다른 말로 잔향)의 중첩으로 구성되어져서 그 임펄스 응답의 파형이 매우 복잡하고 시간이 길기 때문이다. 따라서 8 KHz로 샘플링을 하더라도 임펄스 응답이 수천 샘플이 되기 때문에 적응필터의 계수오차의 증가로 인한 수렴특성이 좋지 않다. 따라서 수렴 속도를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘에 대한 방법들이 제안되고 있다[2].

본 논문에서는 스테레오 음향 반향 제거기에서 MINT 필터링에 의해 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 전처리 제거기를 제안한다. 채널간의 상호상관을 감소시키는 전처리 방식의 제거기가 제안된 바 있으나[3], 본 논문에서 제안한 제거기는 MINT 필터링에 의해 실내 전달함수의 잔향이 저감되어진 입력을 반향 제거기의 출력과 비교함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 실내 전달함수의 잔향 성분을 저감시키기 위해서 각 채널당 2개의 마이크로폰을 사용하여 채널당 2개의 실내 전달경로를 포함한다. 이것은 실내 전달함수의 역함수를 이용하는 역필터링에서 단일채널이 갖고 있는 문제점인 비최소 위상 함수 (non-minimum phase function)를 MINT 필터링에 의해서 최소 위상함수 (minimum phase function)로 수렴시킬 수 있다[4,5]. 실제의 스테레오 음성과 실음장의 조건에서 시뮬레이션하여 제안된 반향 제거기가 적용되는 알고리즘에 관계없이 성능이 향상되는지를 실험하였다.

## II. MINT 필터를 이용한 스테레오 음향 반향 제거

그림 1은 본 논문에서 제안한 스테레오 음향 반향 제거

기이다. 기존의 제거기와 비교하면 실내의 마이크로폰 개수가 각 채널당 2개씩 이루어져 있고 마이크로폰을 통해서 수음된 음성신호가 MINT필터를 거치게 되어 있다. MINT필터를 통과한 신호는 실내 전달함수의 임펄스 응답속에 포함되어져 있는 잔향 성분이 저감되어진 상태에서 음향 반향 제거기의 출력과 비교된다. 따라서 스테레오 반향 제거기의 필터 차수를 저감시킬 수 있으며 필터 계수의 추정오차도 감소하게 되어 반향 제거기의 성능을 향상시킬 수 있다.

스피커에서 마이크로폰까지의 실내 전달함수가 인과적이면서 안정하고 그 역 시스템도 인과적이고 안정할 필요 충분조건은  $H(z)$ 의 극점과 영점이 단위원 내에 있을 때이다. 일반적인 유리 시스템 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$H(z) = H_{min}(z)H_{ap}(z) \tag{1}$$

윗식에서  $H_{min}(z)$ 는 단위원 내에 있는  $H(z)$ 의 극점과 영점을 포함하고 단위원 밖에 있는  $H(z)$  영점의 켈레 역수 영점 (conjugate reciprocal zero)도 포함한다.  $H_{ap}(z)$ 는  $H_{min}(z)$ 에서 반사 켈레 역수 영점을 상쇄하기 위한 극점과 함께 단위원 외부에  $H(z)$ 의 모든 영점을 포함한다. 식 (1)을 이용하여 단위원 밖의 모든 영점을 단위원 내의 켈레 역수 위치로 반사시킴으로써 비최소 위상 시스템을 최소 위상 시스템으로 변형할 수 있다. 따라서 MINT 필터링은 S1에서 M1까지의 전달함수를 단일 채널이 아닌 두 개의 채널 ( $h_{11}, mh_{11}$ )로 사용하여 안정한 역함수를 갖는 잔향 저감 시스템이 되는 것이다. S2에서 M1까지의 전달함수도 동일하게 적용된다.

그림 2는 S1에서 M1과 M1' 그리고 S2에서 M1과 M1' 까지

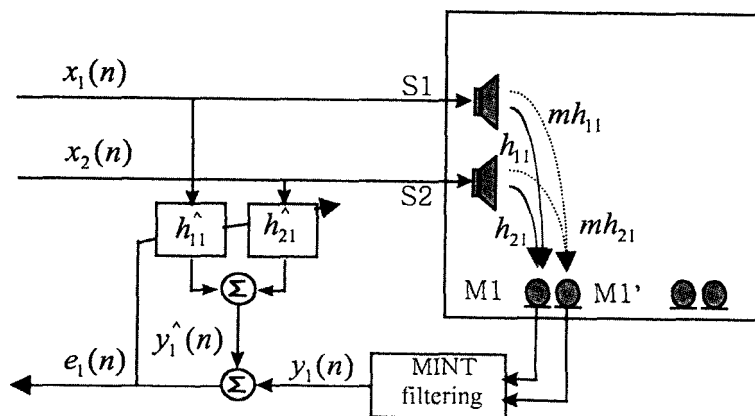


그림 1. 제안한 스테레오 음향 반향 제거기  
Fig. 1. Proposed stereo acoustic echo canceller.

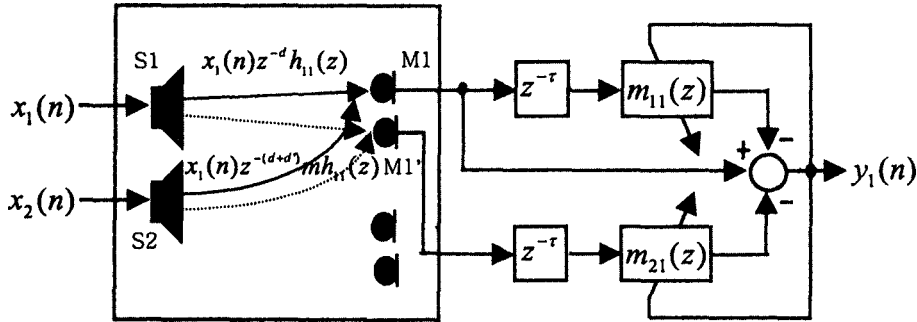


그림 2. 잔향 저감을 위한 MINT 필터링 과정  
Fig. 2. MINT filtering process for reverberation reduction.

의 실내 전달함수에서 잔향을 저감시키기 위한 MINT 필터 구조를 나타내었다. 음원이  $x_1(n)$ 인 경우를 살펴보면 실내의 전달경로가 다른  $z^{-d}h_{11}(z)$ 와  $z^{-(d+d')}mh_{11}(z)$ 에 의해 잔향이 포함된 상태로 M1과 M1'에 입력된다. 그리고 2개의 마이크로폰 출력은  $\tau$ 만큼 지연된 후 역필터링을 위한 적응필터인  $m_{11}(z)$ ,  $m_{21}(z)$  필터에 의해 처리된다. 출력신호  $y_1(n)$ 은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 y_1(n) = & h_{11}(z)x_1(n-d) - z^{-\tau}\{h_{11}(z)m_{11}(z) \\
 & + z^{-d'}mh_{11}(z)m_{21}(z)\}x_1(n-d) \\
 & + h_{21}(z)x_2(n-d) - z^{-\tau}\{h_{21}(z)m_{11}(z) \\
 & + z^{-d'}mh_{21}(z)m_{21}(z)\}x_2(n-d) \quad (2)
 \end{aligned}$$

여기서  $h_{11}''(z)$ 를 식 (3)과 같이,  $h_{21}''(z)$ 를 식 (4)와 같이 두고,  $h_{11}(z)$ 를 식 (5)와 같이,  $h_{21}(z)$ 를 식 (6)과 같이 두고, 식 (2)에 아래의 식 (3)에서 식 (6)까지를 대입하면 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 h_{11}''(z) &= h_{11}(z)m_{11}(z) + z^{-d'}mh_{11}(z)m_{21}(z) \quad (3) \\
 h_{21}''(z) &= h_{21}(z)m_{11}(z) + z^{-d'}mh_{21}(z)m_{21}(z) \quad (4) \\
 h_{11}(z) &= h_{11}'(z) + z^{-\tau}h_{11}''(z) \quad (5) \\
 h_{21}(z) &= h_{21}'(z) + z^{-\tau}h_{21}''(z) \quad (6) \\
 y_1(n) &= h_{11}'(z)x_1(n-d) + h_{21}'(z)x_2(n-d) \quad (7)
 \end{aligned}$$

식 (2)를 만족하는 필터  $m_{11}(z)$ ,  $m_{21}(z)$ 를 구하는 것이 가능하면, 스피커 S1과 마이크 M1사이의 실내 전달함수  $h_{11}(z)$ 의  $\tau$ 차 이하의 잔향 저감이 가능하다. 적응필터  $m_{11}(z)$ 는 식 (8)과 같이 2층 평균치를 최소화하는 적응 처리에 의해서 표현이 가능하다. 적응필터  $m_{21}(z)$ 도 동일한 방법에 의해 표현이 가능하다.

$$M_{opt} = \frac{H^T E[W_{n-\tau} W_{n-\tau}^T] H' + H^T E[W_{n-\tau} W_n^T] h'}{H^T E[W_{n-\tau} W_{n-\tau}^T] H + \sigma^2 I} \quad (8)$$

- $M_{opt}$  :  $m_{11}(z)$ ,  $m_{21}(z)$ 의 계수로 구성된 벡터
- $H$  :  $h_{11}(z)$ ,  $z^{-d'}mh_{11}(z)$ 의 계수로 구성된 convolution행렬
- $W_n$  :  $x_1(n-d)$ 로 구성된 벡터
- $h', h''$  :  $h_{11}'(z)$ ,  $h_{11}''(z)$ 의 계수로 구성된 벡터
- $E[\ ]$  : 기대치

### III. 시뮬레이션 및 결과

그림 3은 MINT 필터링에 의해 실내에서 수음된 음성의 잔향 저감 효과를 시뮬레이션하기 위하여 사용된 실내 임펄스 응답이다. 임펄스 응답은 크기가 76 m<sup>3</sup>인 직육방 체실에서 스피커와 마이크로폰 사이의 거리를 2 m로 하였을 때 백색잡음에 의한 크로스 스펙트럼법을 이용하여 측정하였다. 샘플링 주파수는 12 kHz이고 정밀도는 16비트이며 2048포인트까지 계산하였다. 음원 신호는 백색잡음을 이용하여  $\sigma=0$ ,  $\tau=1$ 로 해서 18,000 회 갱신하였다. 잔향 저감 시스템의 적응필터를 풀밴드 (full-band)로 하였으며 적응알고리즘은 NLMS로 하였다. 그림 4는 그림 2의 M1 마이크로폰을 기준으로 해서 MINT 필터링하여 얻은 잔향 곡선이다. 잔향 에너지가 -20 dB까지 감소하는데 걸리는 시간을 비교하면 측정된 실제 음장에서는 약 160 msec였지만 풀밴드 NLMS에서는 약 50 msec로 약 1/3정도 단축되었다. 따라서 MINT 필터링에 의해 잔향성분이 저감된 상태로 반향 제거기의 출력 신호와 비교가 가능하다는 것을 확인하였다.

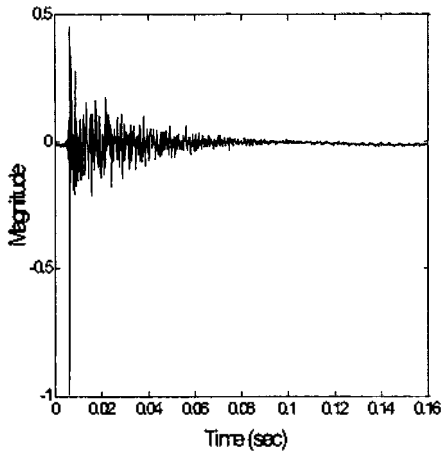


그림 3. 음원과 마이크론폰 사이의 실내 임펄스 응답  
Fig. 3. Room impulse response between microphone to sound source.

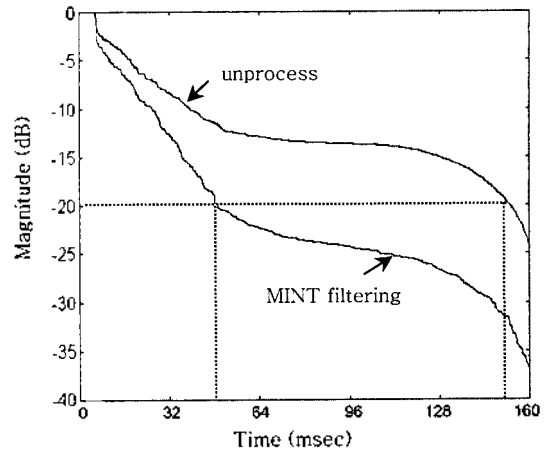
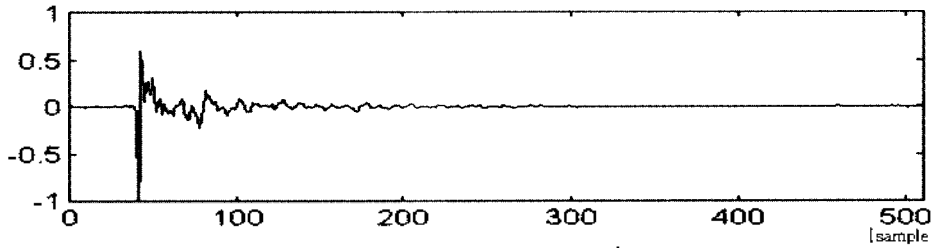
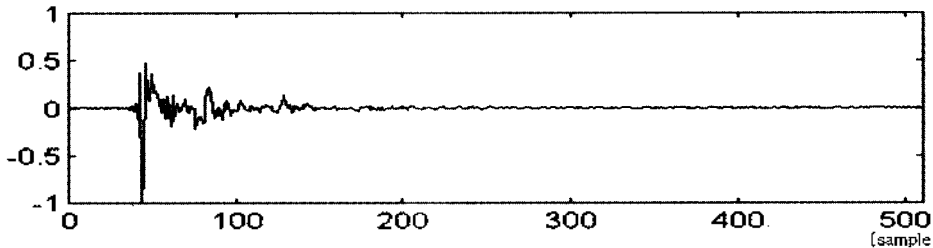


그림 4. MINT 필터링에 의한 잔향 곡선  
Fig. 4. Reverberation curve using MINT filtering.



(a) S1과 M1 사이의 임펄스 응답  
(a) Room impulse response between S1 to M1



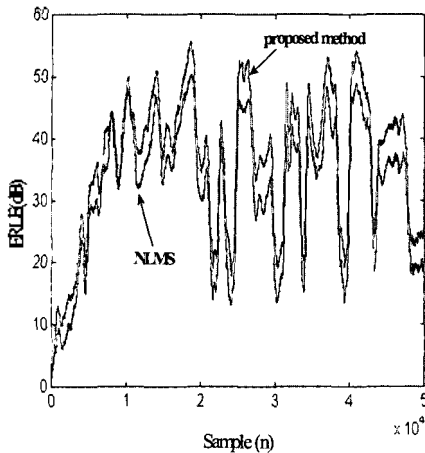
(b) S1과 M1' 사이의 임펄스 응답  
(b) Room impulse response between S1 to M1'

그림 5. 스테레오 반향 제거기에서 실내 임펄스 응답  
Fig. 5. Room impulse response in stereo echo canceller.

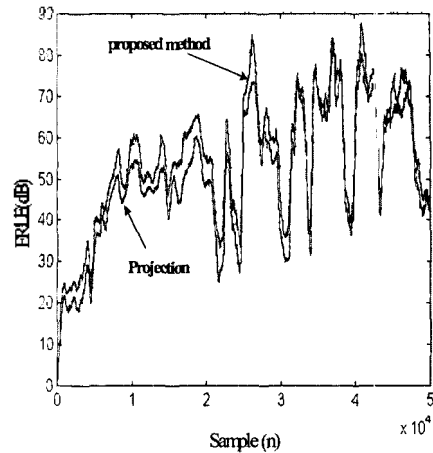
그림 5는 본 논문에서 제안한 스테레오 반향 제거기의 성능 향상을 시뮬레이션하기 위하여 크기가 150 m<sup>3</sup>인 실내에서 백색잡음에 의한 크로스 스펙트럼법을 이용하여 측정된 실내 임펄스 응답 중에서  $h_{11}$ ,  $mh_{11}$ 을 나타내었다. 스피커와 마이크론폰 사이의 거리를 1 m로 하였으며 샘플링 주파수를 12 KHz로 하여 512 샘플로 나타내었다. 스테레오 신호는 스테레오 방송에서 여자 DJ의 음성("오늘따라 바람이 유난히 많이 불어요")을 그대로 사용하였다. 음성신호는 정상적인 백색잡음에 비해 비정상적

인 유색잡음이기 때문에 수렴특성이 좋지 않다. 하지만 실제의 스테레오 음향 반향 제거기에서는 음성신호를 사용하기 때문에 현실적인 신호이다. 제안한 방법이 적응 알고리즘의 종류에 관계없이 수렴특성을 향상시킬 수 있는지를 확인하기 위하여 현재 스테레오 음향 반향 제거기에서 가장 널리 사용되고 있는 NLMS 알고리즘과 스테레오 신호의 상호상관의 변화에 효과적인 Projection 알고리즘을 사용하였다.

그림 6은 반향 제거기의 성능을 나타내는 ERLE이다.



(a) NLMS와 제안한 방법의 ERLE  
(a) ERLE using NLMS and proposed method



(b) Projection과 제안한 방법의 ERLE  
(b) ERLE using Projection and proposed method

그림 6. ERLE 비교  
Fig. 6. Comparison ERLE.

그림 6의 (a)는 NLMS 알고리즘을 사용한 경우의 ERLE와 본 논문에서 제안한 방법의 ERLE를 비교하였다. 그림 6의 (b)는 Projection 알고리즘을 사용한 경우의 ERLE와 본 논문에서 제안한 방법의 ERLE를 비교하였다. Projection 알고리즘이 NLMS 알고리즘에 비해 반향 제거 능력이 우수함을 알 수 있다. 그리고 본 논문에서 제안한 MINT 필터링에 의한 반향 제거기가 알고리즘의 종류에 관계없이 3~5 dB 정도 ERLE가 향상된 결과를 보여주고 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 스테레오 음향 반향 제거기의 성능을 향상시킬 수 있는 MINT필터링에 의한 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 수신측의 마이크로폰에 입력되는 신호성분에서 실내의 잔향 성분을 MINT에 의한 역필터링으로 저감시킨 후 적응처리를 하는 것이다. MINT 필터링에 의해 채널당 2개의 실내 전달경로를 갖게 함으로써 안정적인 최소 위상 역합수를 얻을 수 있어 적응 알고리즘의 종류에 관계없이 효과적으로 잔향성분을 감소시킬 수 있었다.

실제의 스테레오 음성과 실음장의 조건에서 제안된 반향 제거기가 적용되는 알고리즘의 종류에 따라 의존성이 있는지를 스테레오 방송의 음성신호를 대상으로 실음장의 조건에서 시뮬레이션하였다. 그 결과 Projection 알고리즘이 NLMS 알고리즘에 비해서 우수한 성능을 보였고,

제안된 방법이 알고리즘의 종류에 관계없이 ERLE가 3~5 dB 향상됨을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. M. Sondhi, D. Morgan and J. Hall, "Stereophonic acoustic echo cancellation—an overview of the fundamental problem," *IEEE SP Letters*, vol. 2, No. 8, pp. 148–151, Aug. 1995.
2. 김은숙, 정양원, 박영철, 윤대희, "스테레오 음향 반향 제거기를 위한 적응 필터링 알고리즘," *한국음향학회지*, 제18권, 제5호, pp. 3–11, 1999.
3. 김현태, 박장식, 손경식, "그림-슈미터 직교원리를 이용한 스테레오 음향 반향 제거기의 성능향상," *한국음향학회지*, 제20권 제5호, pp. 28–34, 2001.
4. J. B. Allen and D. A. Berkely, "Image method for efficiently simulating small room acoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 65, No. 4, pp. 454–459, Apr. 1979.
5. M. Miyoshi and Y. Kaneda, "Inverse Filtering of Room Acoustics," *IEEE Trans. On Acoustics, Speech and Processing*, vol. 36, No. 2, pp. 145–152, 1988.
6. J. Benesty, P. Duhamel and Y. Grenier, "A multichannel affine projection algorithm with applications to multichannel acoustic echo cancellation," *IEEE SP Letters*, vol. 3, No. 2, pp. 36–37, Feb. 1996.

---

#### 저자 약력

---

● 차 경 환 (Kyung-Hwan Cha)  
한국음향학회지 제19권 제3호 참조