

잡음 상황에서 DUET 블라인드 신호 분리 알고리즘과 스케일 계수 추정을 이용한 음향 반향신호 제거

Acoustic Echo Cancellation using the DUET Algorithm and Scaling Factor Estimation

김경재*, 서재범**, 남상원***
K.J. Kim*, J.B. Seo**, and S.W. Nam***

Abstract - In this paper, a new acoustic echo cancellation approach based on the DUET algorithm and scaling factor estimation is proposed to solve the scaling ambiguity in case of blind separation based acoustic echo cancellation in a noisy environment. In hands-free full-duplex communication system, acoustic noises picked up by the microphone are mixed with echo signal. For this reason, the echo cancellation system may provide poor performance. For that purpose, a degenerate unmixing estimation technique, adjusted in the time-frequency domain, is employed to separate undesired echo signals and noises. Also, since scaling and permutation ambiguities have not been solved in the blind source separation algorithm, kurtosis for the desired signal selection and a scaling factor estimation algorithm are utilized in this paper for the separation of an echo signal. Simulation results demonstrate that the proposed approach yields better echo cancellation and noise reduction performances, compared with conventional methods.

Key Words : acoustic echo cancellation, blind source separation, scaling and permutation ambiguities, DUET

1. 서론

음향 반향신호 제거 기법은 적응 필터링을 사용하여 통신 채널에서 발생하는 음향 반향신호를 효과적으로 제거하는 방법이다. 특히 반향신호는 hands-free와 같은 양방향 통신 시스템에서 스피커와 마이크 사이의 open-air 경로에서 발생될 수 있다(그림 1 참조). 따라서, 음향 반향신호 제거 기법은 hands-free cellular telephony, internet telephony, audio나 video conferencing과 같은 시스템에서 반향신호를 제거하는데 효과적으로 사용된다 [1]. 특히, 일반적으로 음향 반향신호 제거를 위해 기존의 적응 신호처리 기법에 기반하여 반향경로를 추적하는 방식을 취하고 있는데, 소음이 많은 상황에서는 성능이 떨어질 수 있다는 단점을 가지고 있다 [2]. 따라서 보다 더 실제적인 상황에서 반향신호 뿐만 아니라 소음까지 제거하기 위한 새로운 기법이 절실히 요구되어 왔다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 적응 필터를 이용한 방법 외에 blind 신호 분리를 이용한 방법을 적용하여 소음환경에서 음향 반향신호를 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다. Blind 신호분리는 원천 신호와 mixing 시

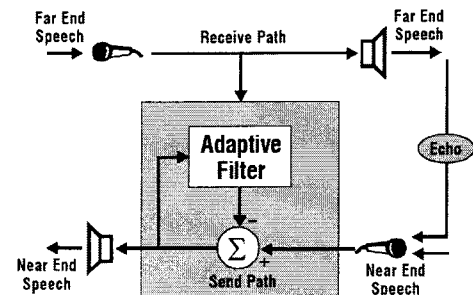


그림 1. 적응 필터를 적용한 음향 반향신호 제거

스템에 대한 정보가 없더라도 섞여 들어온 신호만으로 원천 신호로 분리해 내는 방법이다. 과거 blind 신호분리 방법이 음향 반향신호 제거 방법에 사용된 적이 있으나[3, 4] 해당 논문에서는 소음이 없는 이상적인 상황만을 고려하였고[3], blind 신호분리 기법에서의 스케일과 순열 문제에 대해 고려치 않아서 보다 실제적인 문제를 해결하지 못하였다[4].

본 논문에서는 음성신호에 최적화된 blind 신호분리 기반의 DUET 알고리즘을 적용하여 음향 반향신호 제거 성능을 향상시켰고, blind 신호분리 자체가 가지는 문제점 중 스케일 문제를 해결하기 위하여 스케일 추정 알고리즘을 개발하여 이를 해결하였다 (2절 참조). 또한, 순열 문제 해결을 위해 kurtosis를 적용한 효율적인 음향 반향신호 제거 알고리즘을 제안한다.

저자 소개

- * 金景在: 漢陽大學校 電子通信컴퓨터工學科 碩士課程
- ** 徐在範: 漢陽大學校 電子通信컴퓨터工學科 碩士課程
- *** 南尙沅: 漢陽大學校 電子通信컴퓨터工學科 教授·工博

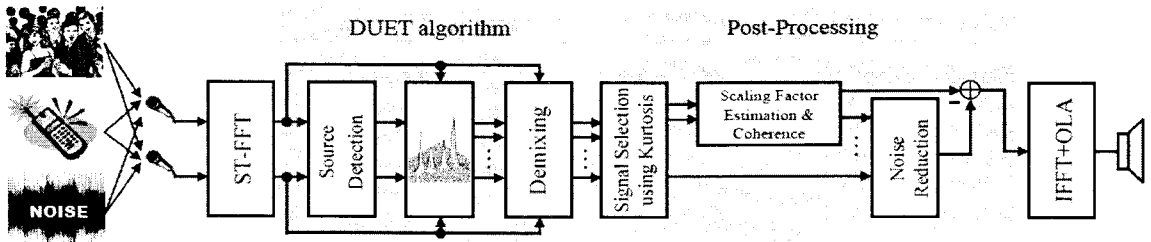


그림 2. 스케일 추정 알고리즘을 적용하여 개선된 DUET 알고리즘의 블록 다이어그램

2. 새로운 음향 반향신호 제거 방법

2.1. 전체 blind 신호분리 구조

본 절에서는 소음 환경에서 blind 신호분리를 이용하여 음향 반향신호를 제거하기 위해 시간-주파수 영역에서 적용된 DUET(degenerate unmixing estimation technique) [5~7] 알고리즘은 실제 환경과 같은 underdetermined 상황(원천 신호가 획득된 섞인 신호보다 많은 경우)에서 우수한 성능을 보인다. 따라서, DUET 알고리즘을 이용하면 기존의 음향 반향신호 제거 방법보다 개선된 성능을 얻을 수 있다. 그런데, 본 논문에서 가장 핵심적인 논점이 되는 부분은 내가 원하는 신호와 소음을 어떻게 정확히 구분해내는가 이다. 또한 blind 신호분리 알고리즘 자체가 가지는 스케일 문제와 순열 문제는 음향 반향신호 제거 시 큰 걸림돌이 되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 스케일 추정 알고리즘을 제안하였는데 신호의 nongaussianity 정도를 알 수 있는 kurtosis를 사용하여 순열문제를 해결한다.

2.2. Blind 신호분리

Blind 신호분리 알고리즘에서는 matrix inversion demixing 문제로 인하여 원천 신호의 수와 섞여 들어온 신호의 수(또는 센서의 수)가 동일한 것이 일반적이다. 그러나 이러한 가정은 실제 환경에서는 적합하지 못하다. 또한, 원천 신호의 수가 많을 때 그만큼 mixing 채널을 준비하는 것 자체가 어려운 상황이 발생할 수도 있다. 최근에 제안된 이진 시간-주파수 마스크를 이용한 DUET 알고리즘은 주어진 원천신호가 W-disjoint orthogonality[7]를 만족할 때, 단지 두 개의 섞인 신호만 가지고도 임의의 원천 신호들을 모두 분리해낼 수 있는 빠르고 효과적인 방법이다. 더욱이 DUET 알고리즘은 시간-주파수 영역에서 sparseness를 가지는 음성 신호와 같은 경우 매우 효과적이라는 특징을 가지고 있다. 따라서, DUET 알고리즘을 음향 반향신호 제거 기법에 적용하면 소음 환경에서도 우리가 원하는 음성 신호들을 효과적으로 분리해낼 수가 있다.

2.3. 원하는 음성 신호를 얻기 위한 후처리 과정

Blind 신호분리 알고리즘은 원천 신호와 mixing 시스템에 대한 정보가 거의 없으므로 인하여 스케일과 순열 문제가 항상 발생한다. 그러나 순열 문제는 주요 음성 신호를 뽑아내는 방법을 적용함으로써 쉽게 해결될 수 있다. 이를 위해 nongaussianity의 척도가 되는 kurtosis를 사용할 수 있다 [8]. 특히, Gaussian 신호의 경우 kurtosis 값은 0이고,

super-gaussian 신호의 경우에는 양의 값, sub-gaussian 신호의 경우에는 음의 값을 가진다. 주요 음성 신호의 경우 super-gaussian 형태를 가지기 때문에 쉽게 구분해낼 수 있다. 환경 소음과 기기 잡음의 경우 주요 음성 신호보다 kurtosis 값이 작으므로 kurtosis의 크기대로 배열하였을 때 kurtosis가 가장 큰 두 개의 신호가 주요 음성 신호임을 쉽게 알 수 있다. 또한, 두 개의 음성 신호 중 어떤 신호가 near-end 신호이고 어떤 신호가 far-end 신호인지는 두 신호의 coherence를 비교하면 쉽게 판단할 수가 있다[3]. 그리고, 스케일 문제를 풀기 위하여 본 논문에서는 스케일 추정 알고리즘을 제안한다. 본 시스템에서 입출력 관계는 선형이다. 따라서 이를 통해 입출력 간 전력비가 일정하다는 것을 이용한다. 따라서 far-end 신호와 반향 신호의 전력비를 이용하여 스케일 계수를 추정할 수 있게 된다. 또한, 선형 시스템에서 전력 변화는 전달함수나 임펄스 응답과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히 blind 신호분리에서 생기는 스케일 문제를 해결하기 위해서는 double-talk 상황에서 반향 신호의 전력을 추정하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 single-talk 상황에서 far-end 신호와 반향 신호간의 전력비는 double-talk 상황에서 반향신호의 전력을 구하는데 사용된다. 이 때, single-talk 구간과 double-talk 구간을 구분하기 위하여 double-talk detection 알고리즘 [1, 9] 이 사용된다. 또한 single-talk 상황에서 far-end신호와 반향 신호의 전력을 구할 때 두 다른 신호를 구별하기 위하여 cepstral distance method [1] 를 적용한다.

상기 과정을 통해 single-talk 와 double-talk 구간에서 far-end 신호의 전력들을 구할 수 있다. Single-talk 구간에서 far-end 신호와 반향 신호 전력을 구하기 위해 power estimation method [1] 를 사용하였고 double-talk 구간에서 반향신호의 전력은 반향 신호의 전력비가 일정하다는 것을 통해 얻을 수 있다. 그 식은 다음과 같다.

$$P_{d2} = \frac{P_{d1}P_{x2}}{P_{x1}} \quad (1)$$

(1)에서 P_{x1} 과 P_{d1} 은 각각 single-talk 구간에서의 far-end 신호와 반향신호의 전력이며, P_{x2} 와 P_{d2} 는 각각 double-talk 구간에서의 far-end 신호와 반향신호의 전력이다. 이 값들과 (1)로부터 분리된 반향 신호의 스케일 계수는 double talk 구간에서 blind 신호분리를 사용함으로써 추정될 수 있다. 그러므로 제안된 방법을 사용하면 주요 음성 신호의 경우 스케일 문제가 해결됨을 알 수 있다. 본 논문에서는 반향 신호를 완벽히 제거하고 소음 신호를 줄이는데

목적성이 있으므로 소음 신호에는 스케일 추정 알고리즘을 적용하지 않았다.

끝으로, 주요 음성 신호가 아닌 나머지 신호들을 제거하는 것에 대해 살펴보면, double-talk 상황에서 스케일이 추정된 반향 신호를 구하였으므로 이는 쉽게 제거될 수 있음을 알 수 있다. 또한 DUET 알고리즘을 통해 분리된 소음 신호들을 측정 신호에서 제거해줌으로써 소음이 감소된 효과를 볼 수 있다. 따라서 소음이 감소된 주요 음성 신호를 최종적으로 얻어낼 수 있는 것이다.

3. 모의실험 결과

모의실험을 위해 필요한 환경 소음과 모바일 기기에서 생기는 잡음은 <http://freesound.iaa.upf.edu/index.php> 에서 얻었고, 남성 목소리(near-end 신호)와 여성 목소리(far-end 신호)는 [7]에서 사용된 표본 음성 신호를 사용하였다. 이 신호들은 모두 25KHz로 표본화되어 있으며, 여성 목소리에는 일반적인 반향 경로를 사용하였다. 그림 3은 4개의 원천 신호로 이루어져 있다. 그림 4에서는 본 논문에서 제안된 알고리즘을 통해 far-end 신호가 제거되고 소음이 대폭 감소된 near-end 신호를 얻게 됨을 확인할 수 있다. 그림 4의 (a)와 (b)의 SNR을 비교하였을 때 처리 후에 SNR이 13dB 증가하였음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 소음 환경에서 개선된 DUET 알고리즘을 이용하여 음향 반향신호를 제거하는 새로운 방법을 제안하였다. 음향 반향신호 제거 시 음성 신호에 가장 적합한 최신의 blind 신호분리 방법인 DUET 알고리즘을 사용함으로써 성능을 높였고, blind 신호분리 방법 자체가 가지는 스케일 문제를 스케일 추정 알고리즘을 개발·적용하여 해결하였으며, 순열 문제 해결을 위해 kurtosis와 coherence를 적용한 보다 효율적인 음향 반향신호 알고리즘을 제시하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R & D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (02-PJ3-PG6-EV08-0001).

참 고 문 헌

- [1] E. Hänsler and G. Schmidt, *Acoustic Echo and Noise Control: A Practical Approach*, New Jersey, Wiley, 2004.
- [2] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th Ed., New Jersey, Prentice-Hall, 2002.
- [3] S. Y. Low and S. Nordholm, "A blind approach to joint noise and acoustic echo cancellation," *Proc. ICASSP2005*, vol. 3, pp. III-69-III-72, Mar. 2005.
- [4] D. Kim, H. Choi, and H. Bae, "Acoustic echo cancellation using blind source separation," *Proc. IEEE Workshop on SIPS2003*, pp. 241-244, Aug. 2003.
- [5] A. Jourjine, S. Rickard, and O. Yilmaz, "Blind separation of disjoint orthogonal signals: Demixing N

sources from 2 mixtures," *Proc. ICASSP2000*, vol. 5, pp. 2985-2988, Jun. 2000.

- [6] H. Sawada, S. Araki, R. Mukai, and S. Makino, "Blind extraction of dominant target sources using ICA and time frequency masking," To appear in *IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Process* (accepted).
- [7] Ö. Yilmaz and S. Rickard, "Blind separation of speech mixtures via time-frequency," *IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Process.*, vol. 52, no. 7, pp. 1830-1847. Jul. 2005.
- [8] S.Y. Low, S. Nordholm, and R. Togneri, "Convolutive blind signal separation with post-processing," *IEEE Trans. on Speech and Audio Process.*, vol. 12, no. 5, pp. 539-548. Sept. 2004.
- [9] P. Åhgren, "Acoustic echo cancellation and doubletalk detection using estimated loudspeaker impulse responses," *IEEE Trans. on Speech and Audio Process.*, vol. 13, no. 6, pp. 1231-1237, Nov. 2005.

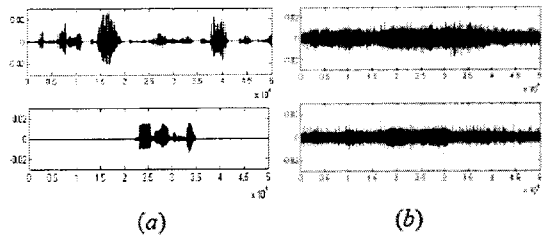


그림 3. 네 개의 원천신호: (a) near-end 신호, far-end 신호 (b) 환경 소음, 기기 잡음 (위에서 아래로)

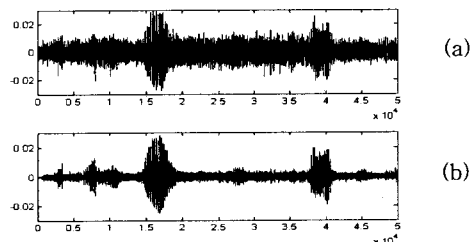


그림 4. Near-end 신호: (a) far-end 신호가 제거된 신호 (b) 후처리 과정 후 최종 획득된 신호