1999년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제18권 제2(s)호

채널 신호의 차성분을 이용한 스테레오 음향 반향 제거기

김 현 태*, 박 장 식**, 손 경 식***

* 부산 · 울산지방 중소기업청, ** 동의공업대학 영상정보처리과, *** 부산대학교 전자공학과

Stereo Acoustic Echo Canceller Using Difference Components of Channel Signals

*Hyun Tae Kim, **Jang Sik Park, *** Kyung Sik Son

* Regional Office of Pusan/Ulsan Small and Medium Business Admin.
** Dept. Image Processing, Dong-Eui Institute of Technology
*** Dept. Electronics Engineering, Pusan National University
e-mail: jsipark@dit.ac.kr

Abstract

In stereo acoustic echo canceller scheme, adaptive filters coefficients converge very slowly or misconverge to real acoustic echo path in receiving room. This is due to cross-correlation between channel signals. In this paper, new preprocessor using absolute difference factor between stereo signals is proposed to reduce cross-correlation between signals. Computer simulations demonstrate that this preprocessor perform well to the half wave rectifier which has simple and good performance of the several preprocessors in recent papers. When the paths in transmitting room change, performance does not degrade in proposed preprocessor.

Ⅰ. 서 론

생생하고 깨끗한 오디오, 비디오 매체를 전송하기 위한 통신시스템에서는 100~7000Hz 정도의 대역폭을 가져야 하고 현장감이 있어야 한다. 현장감은 최소한 두 채널 이상의 전이중방식(full duplex)으로 원격통신시스템을 구성해야 가능하다. 일반적으로 원격통신시스템에는 스피커와 마이크사이의 경로를 따라 발생하는 하울링(howling) 이나 음질을 저하시키는 반향(echo)이 필연적으로 발생한다. 이러한 원격통신시스템에는 반드시 반향제거기를 갖추어야 한다. 현장감을 제공하기 위해서 두 채널의 음향 신호를 전송할 때 발생하는 반향을 제거하는 것이 스테레오 반향 제거기이다. 스테레오 반향제거기의 문제점은 스테레오신호가 단일화자로부터 발생된 신호이므로 두 신호간의 상호상관이 매우 크다는 것이다. 상호상관에 의해 적응필터의 반향경로추정이 느려지거나 잘못 추정되어진다[1][2][3]. 이러한 문제는 모노시스템에서는 발생하지 않지만 스테레오 이상의 시스템에서 발생하는 문제이다.

본 논문에서는 스테레오 신호 간의 상호상관을 스테레오 신호 간의 차성분의 절대값을 이용한 전처리기(preprocessor)를 통하여 줄여서 적응필터 알고리듬의 음향 반향제거성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 기존의 전처리 필터로 가장 나은 성능을 보이는 반파정류필터를 이용하는 방법과[7] 비교하여 스테레오 반향제거성능이 우수하다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 그리고 전송룸의 경로변화에도 반향제거성능이 떨어지지 않는 것을 확인하였다.

Ⅱ. 스테레오 반향제거기

스테레오 반향제거기의 기본구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 전송룸은 오른쪽이며, 수신룸은 왼쪽에 위치한다. $s(k)$는 화자의 음성신호이며, $g_1(k)$과 $g_2(k)$는 전송룸의 화자와 마이크 사이의 경로에 대한 임펄스응답이다. $x_1(k)$과 $x_2(k)$ 는 각 채널 신호이며 또한 수신룸의 스피커 입력신

호이다.

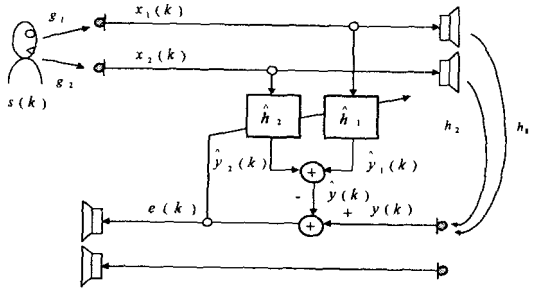

Fig. 1. Basic scheme of stereo echo canceller.

$h_1(k)$과 $h_2(k)$ 는 수신룸의 스피커와 마이크간의 실제 반향경로의 임펄스응답이다. 스테레오 반향신호 $y(k)$는 수신룸 마이크의 입력신호이며,

$$y(k) = h_1(k) * x_1(k) + h_2(k) * x_2(k) \quad (1)$$

이다. 기호 $*$는 컨볼루션을 의미하고 k는 시간지수(time index)이며 정수이다. 오차신호는

$$e(k) = y(k) - \hat{\boldsymbol{h}}_1^T \boldsymbol{x}_1 - \hat{\boldsymbol{h}}_2^T \boldsymbol{x}_2 \quad (2)$$

가 된다. 여기서 $\hat{\boldsymbol{h}}_1$와 $\hat{\boldsymbol{h}}_2$는 L개의 차수를 가지는 적응필터의 계수벡터이며 $\boldsymbol{x}_1$와 $\boldsymbol{x}_2$는

$$\boldsymbol{x}_1 = [\, x_1(k),\ x_1(k-1), \cdots,\ x_1(k-L+1)]^T \quad (3)$$

$$\boldsymbol{x}_2 = [\, x_2(k),\ x_2(k-1), \cdots,\ x_2(k-L+1)]^T \quad (4)$$

이며 오차신호를 보다 간편하게 나타내면

$$e(k) = y(k) - \hat{\boldsymbol{h}}^T \boldsymbol{x} \quad (5)$$

이다. 여기서 $\hat{\boldsymbol{h}}$와 $\boldsymbol{x}$는 다음 식들로 정의된다.

$$\hat{\boldsymbol{h}} = [\, \hat{\boldsymbol{h}}_1^T | \hat{\boldsymbol{h}}_2^T]^T \quad (6)$$

$$\boldsymbol{x} = [\, \boldsymbol{x}_1^T | \boldsymbol{x}_2^T]^T \quad (7)$$

충분히 큰 L에 대해 스테레오반향신호 $y(k)$는

$$y(k) = \boldsymbol{h}_1^T \boldsymbol{x}_1 + \boldsymbol{h}_2^T \boldsymbol{x}_2 = \boldsymbol{h}^T \boldsymbol{x} \quad (8)$$

로 표현될 수 있으며 $\boldsymbol{h}$는

$$\boldsymbol{h} \equiv [\, \boldsymbol{h}_1^T | \boldsymbol{h}_2^T]^T \quad (9)$$

이다. 적응 알고리듬으로 LMS 알고리듬을 활용할 때 다음식과 같다.

$$\hat{\boldsymbol{h}}(k+1) = \hat{\boldsymbol{h}}(k) + \mu e(k)\, \boldsymbol{x}(k) \quad (10)$$

식(10)에서 오차신호의 평균자승이 최소가 되도록 적응필터의 계수를 갱신한다. 각 채널에 대한 최적계수 백터들을 구해보면 다음과 같다.

$$\hat{\boldsymbol{h}}_{1opt} = \boldsymbol{R}_1^{-1} \boldsymbol{P}_1 = \boldsymbol{h}_1 + \boldsymbol{R}_1^{-1} \boldsymbol{R}_{12} \boldsymbol{h}_2 \quad (11)$$

$$\hat{\boldsymbol{h}}_{2opt} = \boldsymbol{R}_2^{-1} \boldsymbol{P}_2 = \boldsymbol{h}_2 + \boldsymbol{R}_2^{-1} \boldsymbol{R}_{21} \boldsymbol{h}_1 \quad (12)$$

여기서 $\boldsymbol{R}_1$, $\boldsymbol{R}_2$ 는 각 채널신호들의 자기상관이고 $\boldsymbol{R}_{12}$, $\boldsymbol{R}_{21}$는 두 채널간의 상호상관이며 $\boldsymbol{P}_1$과 $\boldsymbol{P}_2$ 각 채널의 입력신호와 목표신호와의 상호상관이다. 식(11)과 식(12)에서 알 수 있듯이 스테레오신호간의 상호상관에 의해 각 적응필터의 계수들은 반향경로 임펄스 응답들과 일치하지 않는다.

스테레오반향제거기의 또 다른 문제점은 유일 해를 갖지 못한다는 것이다[4]. 그리고 전송룸에 갑작스런 경로변화가 생기는 경우 적응필터의 계수는 전송룸의 경로변화를 추정하려고 하여 수신룸 쪽의 반향경로 추정이 어려워진다는 것이다. 그러므로 바람직한 스테레오 반향제거기 구조는 이러한 전송룸의 경로변화에 민감하지 않아야 한다. 이러한 제반 문제점들을 해결하려는 여러 가지 방법의 논문들이 제안되어왔다. 기존의 제안된 방법들을 크게 두 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫째는 전처리구조를 통하여 스테레오신호간의 상호상관을 줄여 성능을 개선시키는 경우이다[1][3]. 위에서 언급한 점들은 근본적으로 스테레오 신호가 동일화자로부터 생성되어 스테레오 신호간의 상호상관이 크기 때문에 전송채널 중간에서 미리 채널신호간의 상호상관을 줄여 전송하는 방법에 해당한다. 둘째는 전처리필터를 갖지는 않으며 적응알고리듬 자체에서 적응필터의 계수를 갱신(updating)할 때 스테레오신호간의 상호상관을 줄인 입력신호를 사용하여 스테레오 신호간의 상호상관에 의한 영향을 줄이고자 하였다[6]. 전처리구조를 가지는 방법 중 비교적 효율적으로 채널 신호의 상관도를 줄이는 방법은 반파정류필터를 사용한 경우이다[7]. 이 경

우는 단순히 각 채널신호에 양의 구간에 해당되는 값들에 대해서만 일정비율 감쇠 시켜 본래의 채널신호에 더하여 스테레오 신호 간의 상호상관을 줄이는 구조이다. 즉 반파정류필터의 비선형 특성을 이용하여 상호상관을 줄이는 구조이다. 반파정류필터의 경우 구조가 간단하고 더하는 성분이 본래의 채널신호의 값과 많이 닮아있어 스테레오신호의 음질(quality) 및 공간감(spatial perception)을 거의 줄이지 않는 장점이 있다. 단순히 양의 구간동안 자신의 신호를 그대로 더하는 구조이므로 스테레오신호간의 상호상관을 크게 줄이지는 못한다. 그 대신 상호상관이 약간 줄어들어도 빨리 수렴시키는 FRLS(fast recursive least square)와 같은 수렴속도가 빠른 적응알고리듬이 필요 되어진다. 하지만 이러한 알고리듬은 수식이 복잡하고 계산량이 많이 증가하는 단점이 있다.

Ⅲ. 제안하는 스테레오반향제거기

본 논문에서는 스테레오 신호 간의 차성분(difference component)의 절대값을 이용한 새로운 전처리기를 제안한다. 먼저 스테레오신호는 서로 매우 닮은 신호들이므로 스테레오 신호간의 차성분은 작은 크기를 가지며 스테레오신호사이의 닮은 부분이 아닌 성분을 나타낸다. 이러한 차성분이 각각의 스테레오신호에 더해지면 두 신호간의 상호상관은 줄어든다. 그리고 차성분의 절대값을 취하는 것은 절대값은 비선형 함수에 속하므로 닮은 두 신호에 비선형 성분을 더하면 상호상관은 더욱 줄어들 수 있다.

동작과 관련하여, 먼저 채널신호간의 차성분의 절대값을 구하고 이것을 일정한 상수, ρ 곱하여 감쇠시켜 스테레오신호에 각각 더한다. 여기서 일정상수 감쇠 시키는 것은 스테레오신호의 공간감과 음질이 나빠지지 않도록 하기 위한 것이다. 제안하는 전처리필터를 수식으로 전개하면 다음과 같다.

$$x'_i = x_i + \rho \cdot |x_1 - x_2|, \quad i = 1, 2 \qquad (13)$$

$i = 1, 2$는 스테레오 신호 각각을 의미한다. 그리고 ρ는 스테레오 신호의 공간감을 감소시키지 않는 범위에서의 감쇄상수로 보통 $0 < \rho < 1$ 이다.

적응알고리듬은 NLMS[5]와 APA2(2nd order affine projection algorithm)[3]를 사용하였다. 제안하는 전처리기는 구조가 간단하여 계산량이 적고 반파정류필터가 스테레오신호의 양의구간에만 더하는 반면 전구간에 걸쳐 더하는 구조이므로 감쇠상수(ρ)가 보다 적어도 스테레오신호간의 상호상관을 보다 더 줄일 수 있다. 그리고 감쇠상수가 적으면 식(13)에서 알 수 있듯이 본래의 스테레오신호의 공간감과 음질이 줄어들지 않는다. 끝으로 Ⅱ장의 끝 부분에서 언급한 문제점인 전송룸의 경로변화에 의한 적응알고리듬의 계수 misalignment를 보다 줄일 수 있다. 그 이유는 상호상관이 줄어들면 식(11)와 식(12)에서의 두 번째 성분이 줄어들어 최적값에 보다 더 가까이 접근함으로써 전송룸의 경로변화가 생겨도 적응필터 계수의 변화는 최적 값을 중심으로 가까운 곳에서는 적은 변화를, 보다 먼 곳에서는 보다 큰 변화를 보이기 때문이다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과 및 검토

시뮬레이션에 사용한 음성신호는 무향실에서 녹음한 데이터를 사용하였으며 녹음내용은 " 택시는 곧장 앞으로 빠져나갔다." 이다. 양자화레벨은 16 비트이며 16㎑로 샘플링된 여성의 음성이다. 전송룸의 임펄스응답 g_1, g_2와 수신룸의 임펄스응답 h_1, h_2는 2채널 DAT 레코더로 각각 실제 회의실에서 측정하였으며 필터 탭수는 1024로 두었다. 스테레오신호는 녹음데이타와 전송룸의 임펄스응답을 각각 콘볼루션하여 얻었으며 수신룸의 스테레오반향신호 즉 마이크출력신호는 수신룸의 임펄스응답과 스테레오신호를 각각 콘볼루션하고 더하여 얻었다. 적응필터의 길이는 각각 1024로 임펄스응답의 길이와 같이 두었다. 시뮬레이션에 사용한 적응알고리듬의 전력은 NLMS와 APA2 모두 running power estimate로 추정하였으며 망각지수는 0.998로 두었다. NLMS와 APA2의 적응상수는 각각 0.4와 0.2로 두었다. 제안한 전처리필터에 사용한 감쇠상수 ρ는 0.17이며 이값은 반파정류필터 구조에서 감쇠상수를 0.5로 둔 경우와 같은 SNR 값의 크기가 되도록 하였다. 그리고 본 시뮬레이션에서는 동시통화(double talk)상황은 고려하지 않았다. 그림 2, 3에는 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 비선형필터를 사용하지 않은 경우의 NLMS와 APA2 보다 ERLE가 5~10dB 정도 개선된 것을 알 수 있다. 반파정류필터를 전처리기로 사용하여 스테레오신호간의 상호상관을 줄이는 J. Benesty[7] 경우 보다 ERLE가 3~5dB 정도 개선된 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 또한 APA2 알고리듬을 사용한 결과가 NLMS 보다 ERLE는 약 5dB 정도 성능이 우수한 것을 알 수 있었다. APA2 알고리듬에서 적응필터계수의 갱신이 입력신호의 수직인 방향으로 진행되는 NLMS와 달리 입력신호와 바로 전 입력신호에 각각 수직인 방향으로 진행되므로 음성신호와 같은 유색신호에서 수렴이 보다 빨라지기 때문이다. 그리고 전송룸의 환경이 바뀌는 상태를 나타내기 위해 35000 샘플 중 18000 샘플에서 임펄스응답 g_1, g_2를 다른 임펄스응답으로 바꿔주었다. 그림 4는 이 경우의 ERLE 곡선을 나타낸다. 그림 4에서 알 수 있듯이 g_1, g_2가 변하는 순간

에도 제안한 방법이 성능이 떨어지지 않는 것을 알 수 있다.

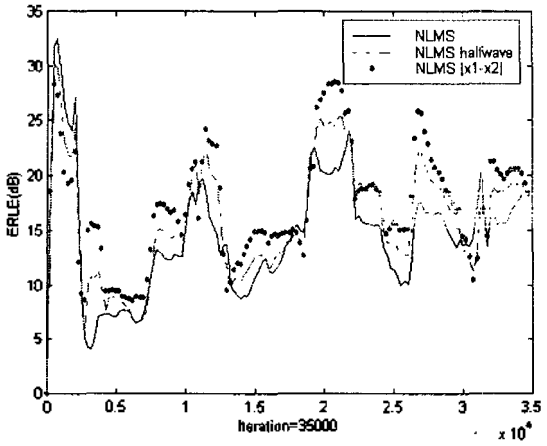

Fig. 2. ERLE curve of stereo echo cancellation using NLMS algorithm.

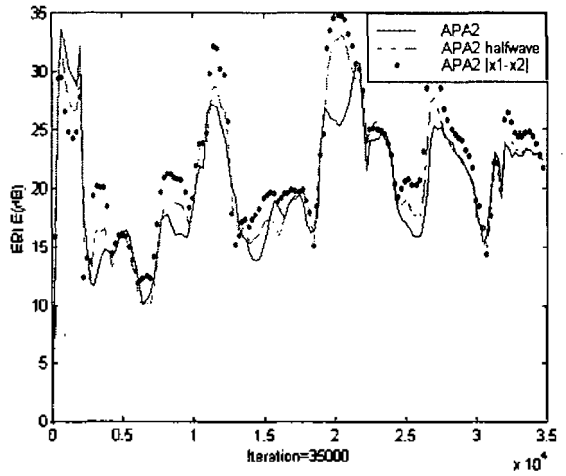

Fig. 3. ERLE curve of stereo echo cancellation using APA2 algorithm.

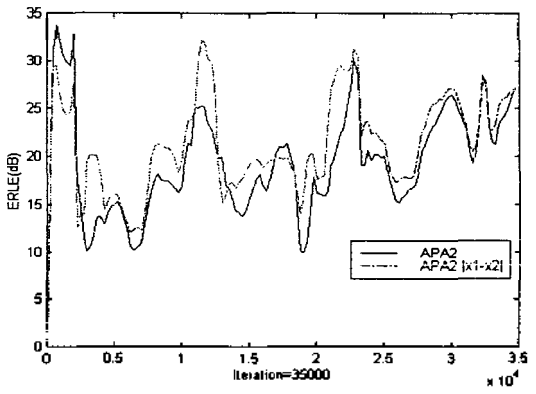

Fig. 4. ERLE curve of changing path in transmitting room.

V. 결 론

본 논문에서는 스테레오신호간의 차성분을 이용하여 상호상관을 줄이는 전처리필터를 제안하였다. 기존의 전처리기로 가장 나은 성능을 보이는 반파정류필터와 비교하여 계산량도 거의 같으면서 반향제거성능이 보다 우수한 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 적응알고리듬에서는 NLMS 알고리듬 보다 APA2 알고리듬이 ERLE 개선되어 우수한 성능을 보이는 것을 알수있었다. 또한 제안하는 전처리기는 전송룸의 경로 변화에도 성능이 떨어지지 않았다. 그리고 제안하는 전처리기의 감쇠상수가 반파정류필터 경우의 감쇠상수보다 약 1/3정도의 크기를 가져 결과적으로 본래의 스테레오신호에 아주 작은 양만 더하게되어 스테레오신호의 공간감과 음질이 줄어들지 않았다.

참고문헌

[1] M. M Sondhi and D. R. Morgan, "Acoustic Echo Cancellation for Stereophonic Teleconferencing," *1991 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, 1991.

[2] A. Hirano, A. Sugiyama, Y. Arasawa, and Kawayachi, "DSP Implemetation and Performance Evaluation of A Compact Stereo Echo Canceller," *ICASSP94*, pp.245-248, 1994.

[3] S. Shimauchi, S. Makino, "Stereo projection echo canceller with true echo path estimation," *ICASSP95*, pp.3059-3062, 1995

[4] M. M. Sondhi, D. R. Morgan, J. L. Hall, "Stereo acoustic echo cancellation -an overview of the fundamental problem," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 2, No. 8, pp. 148-151, Aug., 1995.

[5] J. Benesty, F. Amand, A. Gilloire, Y. Grenier, "Adaptive filtering algorithms for stereophonic acoustic echo cancellation," *ICASSP95*, pp.3099-3101, 1995.

[6] J. Benesty, P. Duhamel, Y. Grenier, "A multichannel Affine Projection algorithm with applications to multichannel acoustic echo cancellation," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 3, No. 2, pp 35-37, Feb. 1996

[7] J. Benesty, D. R. Morgan, M. M. Sondhi, "A better understanding and an improved solution to the problems of stereophonic acoustic echo cancellation," *ICASSP97*, pp.303-306, 1997.