

Room 임펄스응답의 왜곡에 강건하기 위해 StepSize 비교기를 추가한 Acoustic Echo Canceler

이 세 원, 강 희 훈, 나 희 수, 이 성 백
광운대학교 전자공학과
전화 : 02) 940-5113 / 핸드폰 : 016-275-3835

Acoustic Echo Canceler with StepSize Comparater for Robust of Room Impulse Response Distortion

Se Won Lee, Hee Hoon Kang, Hee Soo Na, Sung Paik Lee
Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University
E-mail : bond98@hananet.net

Abstract

A new configuration of acoustic echo canceler with stepsize predictor and comparator is proposed in this paper. Conventional acoustic echo cancelers using ES(Exponential Step)algorithm has fast convergence speed, but very weak in interference of environment.

The proposed stepsize predictor and comparator improve conventional acoustic echo canceler's defects. The StepSize predictor generates a stepsize value using residual power of error signal. The stepsize comparator selects the stepsize value that is better performance in a acoustic echo canceler using a stepsize decision factor. The Simulation results show superiority of the proposed acoustic echo canceler in environment interference.

I. 서론

음향 반향 제거기(Acoustic Echo Canceler)는 원격 회의, 핸즈프리 시스템 등에서 상대방과의 원활한 의사소통을 하기 위해 반드시 필요한 기술이다.[1] 음향 반향 제거기에는 불규칙적인 EchoPath의 전달함수를 예측하기 위해 적응 알고리즘이 사용된다. 구조면에서 간단하기 때문에 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘이 일반적으로 가장 많이 사용되지만, 동시에 수렴속도가

매우 늦다. 따라서 이러한 결점을 보완해주기 위해 다양한 적응 알고리즘이 연구되었다.[2]

다양한 적응 알고리즘들 중에서 ES 알고리즘은 수렴속도를 높이기 위해 Room 임펄스 응답의 특성을 이용하였다. ES 알고리즘은 채집된 Room 임펄스 응답의 에너지 평균 감쇠율을 이용해 StepSize 값을 가변적으로 결정한다.[3] 그러나 ES 알고리즘은 특정조건에서 채집된 Room 임펄스 응답을 이용한다는 점에서 큰 문제점을 갖는다. 즉 일반적인 외부의 간섭에 의해 Room 임펄스 응답이 왜곡되면 제거기의 성능이 크게 저하된다. 따라서 본 논문에서는 외부의 간섭에 강건하기 위해 StepSize 예측기와 비교기를 추가한 음향 반향 제거기를 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 기존의 제거기와 그 성능을 비교하였다.

II. 기본적인 음향 반향 제거기 알고리즘

2.1 음향 반향 제거기의 기본 구조

음향 반향 제거기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 수신된 신호 $x(k)$ 는 마이크로폰을 통해 스피커로 일부가 피드백 된다. 이때 유입되는 $x(k)$ 는 Echo $y(k)$ 형태로 변형되어진다. 음향 반향 제거기는 이러한 과정에서 EchoPath의 전달함수 $h(k)$ 를 예측하고, 그에 근사한 전달함수 $\hat{h}(k)$ 를 만들어서 Echo 복사본(replica)을 생성한다.

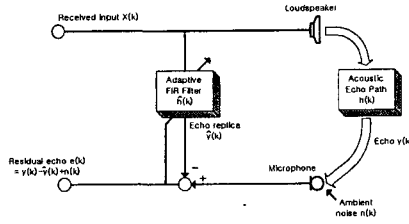


그림 1. 기존의 음향 반향 제거기

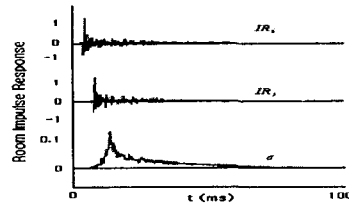


그림 2. Room 임펄스 응답 특성

이렇게 만들어진 Echo 복사본을 실제 Echo에서 감산시켜줌으로써 피드백 되어지는 Echo를 제거하게 된다. 음향 반향 제거기는 실시간 동작을 하기 때문에, 원활한 의사소통을 위해서는 빠른 수렴 속도를 갖도록 해야 한다.

2.2 NLMS 알고리즘

많은 적응 알고리즘 중에서도 NLMS 알고리즘은 간단한 동작과 적은 연산량으로 인해 가장 널리 사용되는 대표적인 적응 알고리즘이다. NLMS 알고리즘에서 Weight Update 하는 방법은 식(1)과 같다.

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + \alpha \frac{e(k)}{\|x(k)\|^2} x(k) \quad (1)$$

식(1)에서 $\hat{h}(k)$ 는 음향 반향 제거기의 tap weight 값을 나타내고, $e(k)$ 는 잔여 Echo, $x(k)$ 는 수신된 신호를 의미한다. 또한 α 는 weight 값의 update 속도를 조절해주는 Step size 값이다.

NLMS 알고리즘은 최적의 α 를 결정해서 제거기의 수렴속도와 잔여 노이즈의 양을 결정한다. 즉 α 값을 크게 결정하면, 수렴속도는 매우 빨라지지만 잔여 노이즈의 양은 커지게 된다. 반대로 α 값을 작게 결정하면, 잔여 노이즈의 양은 작아지는 반면에 수렴속도는 현저히 떨어지게 된다.

일반적으로 수신신호가 White Noise일 경우, $\alpha = 1$ 일 때 가장 빠른 수렴속도를 갖게 된다.

III. ES(Exponential Step size) 알고리즘

3.1 Room 임펄스 응답의 특성

사물의 움직임이나 마이크와 스피커 사이의 거리 변화와 같은 다양한 이유로 한정된 공간에서 채집되어지는 Room 임펄스 응답은 모두 다르다.

그러나 특정조건에서 채집되는 Room 임펄스 응답들의 평균 감쇠율의 크기는 모두 유사한 형태를 갖는다. 그림 2는 반향 시간이 280ms인 공간에서 스피커와 마이크 사이의 거리가 1m일 때 채집되어진 Room 임펄스 응답을 나타내고 있다. 그림 2에서 알 수 있듯이 임펄스 응답 각각의 크기는 서로 다르지만 감쇠 특성은 유사함을 알 수 있다. 이러한 특성을 기초로 하여 ES 알고리즘이 성립되게 된다.

3.2 ES 알고리즘

ES 알고리즘은 Step size 값을 결정하는 기준으로 특정조건에서 채집되어진 Room 임펄스 응답들의 평균 감쇠율을 이용한다. 다음은 ES 알고리즘의 Weight Update 식이다.

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + A \frac{e(k)}{\|x(k)\|^2} x(k) \quad (2)$$

식(2)에서 A 는 Step Gain Matrix를 나타내고, 식(3)과 같이 정의된다.

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \alpha_2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \alpha_3 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \alpha_L \end{pmatrix} \quad (3)$$

이 때 α_i 는 i 번째 입력에 대한 Step size 값을 의미하고, $L+1$ 개의 Step size 값들은 채집되어진 Room 임펄스 응답의 평균 감쇠율을 이용하여 α_1 부터 α_L 까지 지수 함수 형태로 일정하게 값을 갖는다.

그림 3은 실제 α_{max} 부터 α_{min} 까지 matrix A 에 값을 결정하는 방법을 보여주고 있다.

IV. 제안된 음향 반향 제거기

ES 알고리즘은 Step size 값을 결정하는 방법으로

Room 임펄스응답의 왜곡에 강건하기 위해 StepSize 비교기를 추가한 Acoustic Echo Canceler

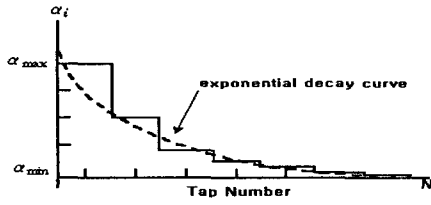


그림 3. StepSize α_i of Matrix A

NLMS 알고리즘에 비해 2배 이상의 빠른 수렴속도를 갖는다. 그러나 특정조건에서 채집된 Room 임펄스 응답을 이용한다는 점에서 ES 알고리즘은 큰 단점을 갖고 있다. 즉 외부 간섭에 의해 Room 임펄스 응답이 왜곡되어질 경우 오히려 NLMS 알고리즘에 비해 제거기의 성능이 크게 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 기존의 음향 반향 제거기에 별도의 StepSize 예측기와 비교기를 제안하여 외부의 간섭에 의한 성능 저하를 방지하

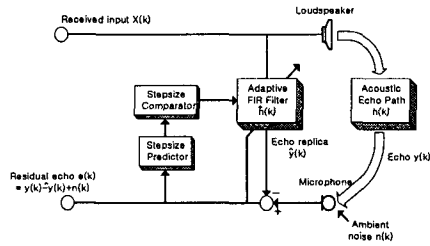


그림 4는 제안된 음향 반향 제거기의 구조를 보여주고 있다.

그림 4. 제안된 음향 반향 제거기

4.1 StepSize 예측기

StepSize 예측기는 Echo와 Echo 복사본의 차인 Error 신호를 이용해 다음 과정의 StepSize 값을 예측한다. 즉 수렴하는 과정에서 Error 신호의 잔여 노이즈 파워(Residual Noise Power)를 측정하고 그것의 움직임 평균(Moving Average)을 산출해서 다음 입력신호에 대한 StepSize 값을 결정하게 된다. 그림 5는 StepSize 예측기의 내부구조를 보여준다.

StepSize 예측기의 내부 동작을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$d_k = \frac{(n_k + y_k + \hat{y}_k)^2 - E[(n_k + y_k + \hat{y}_k)^2]}{n_k^2 - E[n_k^2] + 2n_k(y_k - \hat{y}_k) + (y_k + \hat{y}_k)^2} \quad (4)$$

식(4)는 평균값 정리의 특성에 의해 다시 식(5)와 같

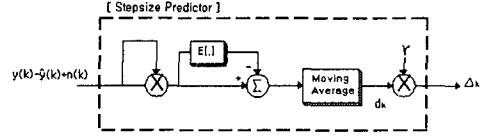


그림 5. StepSize 예측기의 내부구조 이 정리된다.

$$d_k \approx \frac{(n_k + y_k + \hat{y}_k)^2 - E[n_k^2]}{n_k^2 - E[n_k^2] + 2n_k(y_k - \hat{y}_k) + (y_k + \hat{y}_k)^2} \quad (5)$$

n_k 와 v_k 그리고 \hat{v}_k 는 모두 서로 상호 독립적이기 때문에 식(5)의 첫 번째와 두 번째 이동 평균은 0에 근사하게 된다. 따라서 최종적으로 d_k 는 식(6)과 같다.

$$d_k \approx \overline{(y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (6)$$

두 개의 움직임 평균기는 정확한 StepSize 예측을 위해 주변 잡음과 이전 입력 데이터의 영향을 제거하기 위해 사용되었다. γ 는 최종 잔여 노이즈의 크기를 결정하는 상수이다.

4.2 StepSize 비교기

StepSize 비교기는 각기 다른 방법으로 구해진 두 개의 StepSize 값을 적절하게 사용하여 갑작스러운 외부 간섭에도 제거기의 성능을 유지한다.

비교기에서는 ES 알고리즘에 의해 미리 구해진 α_{RIR} 과 예측기에 의해 산출된 α_{Pre} 의 차를 구하게 되고, 그 차의 크기에 따라 각각을 제거기에 적용하게된다.

$$|\alpha_{RIR} - \alpha_{Pre}| = \Delta_{differ} \quad (7)$$

식(7)로 정의되는 StepSize 결정요소 Δ_{differ} 는 그 값의 크기에 따라 서로 다른 2개의 StepSize 값을 식(8)과 같은 조건에 의해 제거기의 Weight Update 식(2)에 적용한다.

$$\Delta_{differ} > 2 \Rightarrow \alpha_{Pre} \quad (8.1)$$

$$\Delta_{differ} < 2 \Rightarrow \alpha_{RIR} \quad (8.2)$$

이러한 비교과정은 제거기의 반복 동작마다 계속되

지만 결정된 두 개의 값에 대한 단순한 크기비교이기 때문에 제거기의 진반적인 처리속도에는 크게 영향을 끼치지 않는다.

Stepsize 결정요소 Δ_{differ} 는 주위환경이나 외부 간섭의 정도에 따라 적응적으로 결정되어질 수 있다. 즉 외부의 간섭이 거의 없는 곳에서는 Δ_{differ} 의 값을 크게 해서 약간의 간섭에 의한 왜곡은 무시하면서 수렴속도를 증대시키게 되고, 반대로 외부의 간섭이 잦을 경우에는 Δ_{differ} 의 값을 작게 설정해서 조그만 외부 간섭에도 제거기가 반응할 수 있도록 한다.

V. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 ES 알고리즘을 기본으로 해서 기존의 음향 반향 제거기와 제안된 제거기의 성능을 비교하였다. 입력 신호는 8kHz로 샘플링된 백색 가우시안 노이즈(White Gaussian Noise)를 이용하였고, Room의 반향시간은 500ms로 조건을 주었다.

외부의 간섭에 의한 Room 임펄스 응답의 왜곡을 주기 위해 동작을 시작한 후 4분 후 외부 충격을 가하였

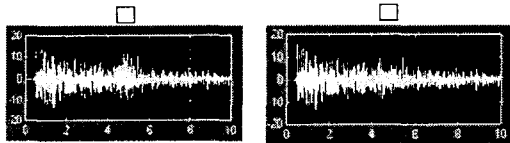


그림 6. 기존의 AEC의 Error 출력 파형 그림 7. 제안된 AEC의 Error 출력 파형

다. 그림 6과 7은 각각 기존의 음향 반향 제거기의 Error 출력 파형과 제안된 음향 반향 제거기의 Error 신호에 대한 출력 파형을 나타내고 있다.

그림 6과 7의 마킹부분에서 알 수 있듯이 기존의 음향

반향 제거기는 외부의 충격이 가해진 뒤 바로 Error의 크기가 증가하는 반면에, 제안된 음향 반향 제거기는 외

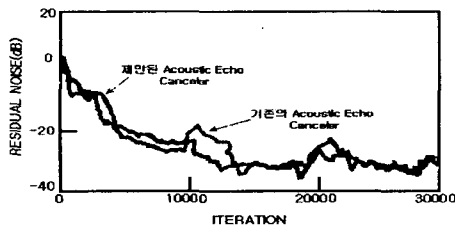


그림 8. 기존의 AEC와 제안된 AEC의 수렴 특성

부의 충격에도 Error 양이 크게 변화하지 않고 점차적으로 줄어서 0에 수렴해 가는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 기존의 음향 반향 제거기와 제안된 음향 반향 제거기의 Error 출력신호를 반복횟수에 대한 잔여 노이즈의 크기로 나타내고 있다.

마찬가지로 반복횟수가 1000번일 때 외부에서 충격을 주었고 기존의 음향 반향 제거기는 제안된 제거기에 비해 외부 충격이 가해진 후 잔여 노이즈의 크기가 15dB이상 커지는 것을 알 수 있다.

VI. 결론

ES 알고리즘을 이용한 기존의 음향 반향 제거기는 빠른 수렴속도를 갖고 있었다. 그러나 특정조건에서 채집된 Room 임펄스응답을 이용한다는 알고리즘의 특성 때문에 외부 간섭이 발생했을 때는 오히려 수렴정도가 크게 떨어지는 단점이 발생하였다. 본 논문에서는 ES 알고리즘의 빠른 수렴속도를 유지하면서도 외부의 간섭에 대한 강건함을 갖기 위해 기존의 음향 반향 제거기에 StepSize 예측기와 비교기를 제안하였다. 시뮬레이션 결과, 실제 제안된 제거기의 수렴속도는 기존의 것과 유사하였고, 외부의 간섭이 발생했을 때의 Error 크기는 기존의 제거기에 비해 15dB 이상 감소함으로써 그 성능이 외부의 간섭에 크게 강건해짐을 알 수 있었다.

제안된 음향 반향 제거기는 외부 간섭의 정도에 따라 StepSize 비교기의 Δ_{differ} 값을 조절해줌으로써 간섭의 크기에 관계없이 어느 곳에서나 원활한 대화를 가능케 할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Widrow, B.; D.Stearns, S , "ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING" PRENTICE HALL , 1st edit ,1985
- [2] Hykin , "ADAPTIVE FILTER THEORY" PRENTICE HALL , 3rd edit , 1996
- [3] Makino, S.; Kaneda, Y.; Koizumi, N. , "Exponentially weighted stepsize NLMS adaptive filter based on the statistics of a room impulse response" Speech and Audio Processing, IEEE Transactions on Volume: 1 1 , Jan. 1993 , Page(s):101 -108
- [4] Doherty, J.F.; Porayath, R , "A robust echo canceler for acoustic environments" Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on Volume: 44 5 , May 1997 , Page(s): 389 -396
- [5] Ayad, B.; Faucon, G.; Le Bouquin-Jeannes, R. , "Optimization of noise reduction Preprocessing in an acoustic echo and noise controller" Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1996. ICASSP-96. Conference Proceedings., 1996 IEEE International Conference on Volume: 2 , 1996 , Page(s): 953 -956 vol. 2