

잡음에 강인한 반향 제거기 연구

Echo Canceller with Improved Performance in Noisy Environments

이 세 원*, 박 호 중*
(Se-Won Lee*, Hochong Park*)

*광운대학교 전자공학과

(접수일자: 2002년 10월 30일; 수정일자: 2003년 3월 5일; 채택일자: 2003년 3월 20일)

ES (Exponentially-weighted stepsize) 알고리즘을 이용한 기존의 음향 반향 제거기는 동작 구조가 간단하고 NLMS (Normalized Least-Mean Square) 알고리즘에 비해 빠른 수렴 속도를 가지지만, 특정 음향학적 조건에서 결정된 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇠율을 이용해 적응 필터의 탭을 갱신하므로 외부 잡음에 약한 문제점을 가진다. 본 논문에서는 행렬형 계수조절 파라미터 생성기를 추가하여 외부 잡음에 강인한 새로운 구조의 음향 반향 제거기를 제안한다. 두 개의 이동 평균기를 이용해 잔여 에너지를 추정한 후, 이를 음향 반향 제거기에 행렬형으로 적용하여 외부 잡음에 대하여 빠른 수렴 속도를 가지게 한다. 다양한 외부 잡음 조건에 대하여 성능을 측정한 결과, 제안된 행렬형 계수조절 파라미터 생성기에 의하여 외부 잡음에 대한 음향 반향 제거기의 강인함이 향상되는 것을 확인하였다.

핵심용어: 적응 필터, 음향 반향 제거기, 외부 잡음에 대한 강건함, 계수조절 파라미터, 행렬형 계수조절 파라미터

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1.4, 1.2)

Conventional acoustic echo cancellers using ES algorithm have simple structure and fast convergence speed compared with those using NLMS algorithm, but they are very weak to external noise because ES algorithm updates the adaptive filter taps based on average energy reduction rate of room impulse response in specific acoustical condition. To solve this problem, in this paper, a new update algorithm for acoustic echo canceller with stepsize matrix generator is proposed. A set of stepsizes is determined based on residual error energy which is estimated by two moving average operators, and applied to the echo canceller in matrix form, resulting in improved convergence speed. Simulations in various noise condition show that the proposed algorithm improves the robustness of acoustic echo canceller to external noise.

Keywords: Adaptive filters, Acoustic echo canceller, Robustness to external noise, Stepsize, Stepsize matrix

ASK subject classification: Acoustics signal processing (1.4, 1.2)

I. 서론

음향 반향 제거기는 원격회의 시스템이나 핸드프리 (hands-free)와 같이 마이크와 스피커가 함께 있는 일체형 단말기를 이용해 상대방과 통화하는 과정에서 발생하는 음향 반향 (acoustic echo) 신호를 제거하여 통화 품질을 향상시키는 시스템이다. 음향 반향 제거기에는 불규칙적인 반향 경로 (echo path)의 전달 함수를 예측하기 위하여 적응 알고리즘이 사용되며, 매우 적은 계산량을 가지는 NLMS (normalized LMS) 알고리즘이 가장 널리

사용되지만 수렴 속도가 매우 느린 단점을 갖는다[1,2]. NLMS 알고리즘의 장점을 유지하면서 동시에 수렴 속도를 향상시키기 위해 필터 탭 계수를 갱신하는 과정에서 계수조절 파라미터 값을 가변적으로 결정해 주는 VS (variable stepsize) 알고리즘이 연구되었다[3-6]. 많은 VS 알고리즘 중에서 ES (exponentially-weighted stepsize) 알고리즘은 NLMS 알고리즘에 비해 계산량의 증가는 최소화하고 수렴 속도를 크게 향상시킨 알고리즘이다. ES 알고리즘은 음향학적 조건을 고정시킨 장소에서 측정된 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇠율이 일정하다는 특징을 이용해 계수조절 파라미터를 결정하고, 이것을 필터 탭 계수의 갱신 과정에 적용한다[7]. 그러나 ES 알고리즘은 계수조절 파라미터 값들을 결정하기 위해 음향

책임저자: 박호중 (hpcpark@mail.gwu.ac.kr)
139-050 서울 노원구 월계동 447-1
광운대학교 전자공학과
(전화: 02-940-5104; 팩스: 02-2291-1793)

학적 조건이 고정된 환경에서 측정된 공간 임펄스 응답들을 이용하기 때문에 실제 외부 잡음이 발생하여 공간 임펄스 응답이 왜곡될 경우 오히려 음향 반향 제거기의 전반적인 수렴 특성이 저하되는 단점을 갖는다[8,9]. 즉 음향 반향 제거기의 전체적인 수렴 속도가 느려지고 수렴 후반의 안정 상태 (steady-state)에서 나타나는 조절 오차값 (misadjustment)이 증가하여 음향 반향 현상을 완전히 제거할 수 없게 된다.

본 논문에서는 ES 알고리즘을 사용한 음향 반향 제거기의 동작이 외부 잡음의 영향을 받지 않고 항상 일정하게 진행될 수 있도록 하기 위하여, 외부 잡음에 따라 가변적으로 계수조절 파라미터 (stepsize) 값을 생성하고 이를 행렬형으로 음향 반향 제거기에 적용하는 새로운 음향 반향 제거기 구조를 제안한다. 이를 위하여 두 개의 이동 평균기를 반향 제거기에 적용하고 이를 통하여 잔여 에러 신호의 에너지 값을 추정하고 이를 기반으로 적절한 계수 조절 파라미터를 정하여 반향 제거기에 적용한다. 다양한 잡음 환경에서의 성능 측정을 통하여 제안된 음향 반향 알고리즘의 수렴 성능이 기존의 NLMS 알고리즘과 ES 알고리즘에 비해 우수함을 확인하였다.

II. 기존의 음향 반향 제거기

2.1. 음향 반향 제거기의 기본 동작

일반적인 음향 반향 제거기의 구조는 그림 1과 같다. 상대방으로부터 전달되어 스피커에 의해 출력되는 수신 신호 $x(k)$ 의 일부가 마이크를 통해 상대방에게 다시 귀환된다. 이때 마이크로 유입되는 반향 (echo) 신호 $y(k)$

는 $x(k)$ 가 반향 경로에 의해 변형된 형태이다. 음향 반향 제거기는 적응 알고리즘을 이용해 실시간으로 변화하는 반향 경로의 전달 함수를 예측하고, 반향 복사본 (echo replica) 신호 $\hat{y}(k)$ 를 생성하여 실제 반향 신호 $y(k)$ 를 제거하여 준다. 상대방과의 원활한 통화를 위해서 음향 반향 제거기는 반향 경로의 전달 함수를 빠르게 예측하고 전달 함수의 변화를 빠르게 추적하여 음향 반향 신호를 즉시 제거해야 한다. 즉 적응 알고리즘의 수렴 속도가 매우 중요한 성능 요소이다.

적용 필터의 계수를 갱신하기 위한 다양한 알고리즘이 개발되었으며, NLMS 알고리즘이 단순한 동작 과정과 적은 계산량으로 인하여 가장 많이 사용되는 대표적인 적응 알고리즘이다. NLMS 알고리즘의 필터 계수의 갱신 방법은 식 (1)과 같다.

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

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) + n(k) \tag{1}$$

식 (1)에서 $\hat{h}(k)$ 는 적응 알고리즘을 이용한 음향 반향 제거기의 탭 계수 값을 나타내고, $e(k)$ 는 잔여 에러 신호이며, $y(k)$ 와 $\hat{y}(k)$ 는 각각의 반향 신호와 반향 복사본 신호이다. 또한 상수 α 는 계수조절 파라미터 (stepsize)로서 기본적으로 필터 탭 갱신 과정에서 탭 계수 값의 변화량을 조절해 준다. 적응 알고리즘의 계수조절 파라미터는 음향 반향 제거기의 수렴 속도와 수렴 정도, 그리고 안정 상태에서의 조절 오차값을 결정하는 매우 중요한 값이다. 일반적으로 α 값을 크게 설정하면 수렴 속도는 빨라지지만 잔여 에러량의 크기와 조절 오차값이 커지게 된다. 반대로 α 값을 작게 결정하면 잔여 에러량의 크기

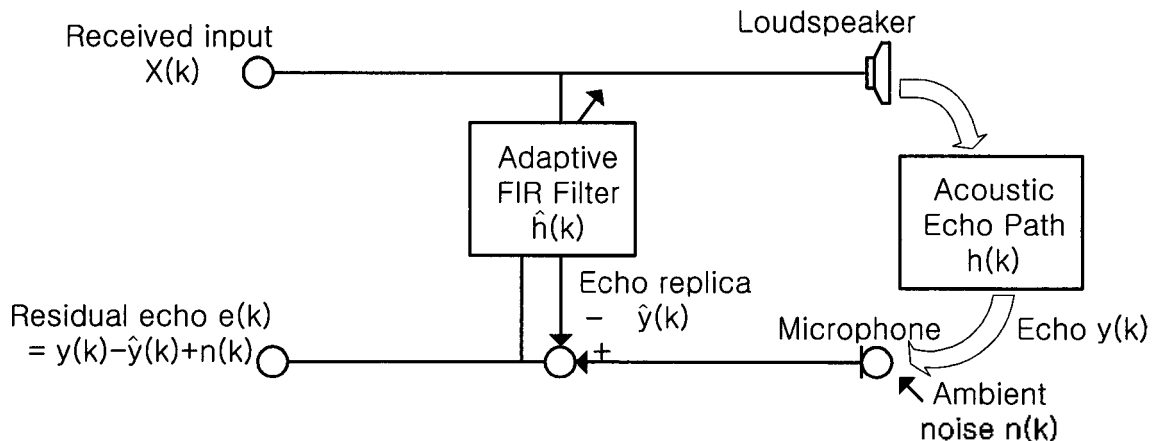


그림 1. 일반적인 음향 반향 제거기의 구조
Fig. 1. Structure of acoustic echo canceller.

는 작아지고 조절 오차값은 감소하지만, 수렴 속도는 현저히 떨어지게 된다. 일반적으로 수신신호 $x(k)$ 가 백색 잡음 (white noise)일 경우, 계수조정 파라미터 값이 1일 때 가장 빠른 수렴속도를 가지게 된다[1,2].

앞에서 설명한 상수 α 와 음향 반향 제거기의 수렴 특성의 관계를 이용해 NLMS 알고리즘의 단점을 개선하는 방법이 VS (variable stepsize) 알고리즘이다. VS 알고리즘은 일반적으로 수렴 초기 과정에서 계수조정 파라미터 값을 크게 설정해 수렴 속도를 높이는데 중점을 두고, 수렴 과정의 후반 부분, 즉 안정 상태에서는 계수조정 파라미터 값을 작게 설정해 잔여 에러량을 최소화시키고 조절 오차 값도 감소시킨다.

2.2. 공간 임펄스 응답과 ES 알고리즘

일반적으로 임의의 장소에서 측정된 공간 임펄스 응답들은 사물의 움직임이나 마이크와 스피커 사이의 거리 변화와 같은 다양한 음향학적 이유로 그 형태가 모두 다르다. 그러나 음향학적 조건이 일정하게 고정된 공간에서 측정된 공간 임펄스 응답들의 평균 에너지 감쇠율은 모두 일정해지는 특성을 갖는다. 그림 2는 반향 시간이 280 ms인 공간에서 스피커와 마이크 사이의 거리가 1 m일 때 측정되어진 각기 다른 공간 임펄스 응답 IR_1 와 IR_2 , 그리고 각각의 공간 임펄스 응답들의 평균 에너지 감쇠율 σ 를 나타내고 있다[7].

그림 2에서 알 수 있듯이 음향학적 조건이 고정되면, 측정된 공간 임펄스 응답들의 형태는 서로 다르지만 각각의 평균 에너지 감쇠율은 모두 일정함을 알 수 있다. ES 알고리즘은 공간 임펄스 응답의 이러한 특성을 이용해 계수조정 파라미터 값들을 결정하고 음향 반향 제거기의

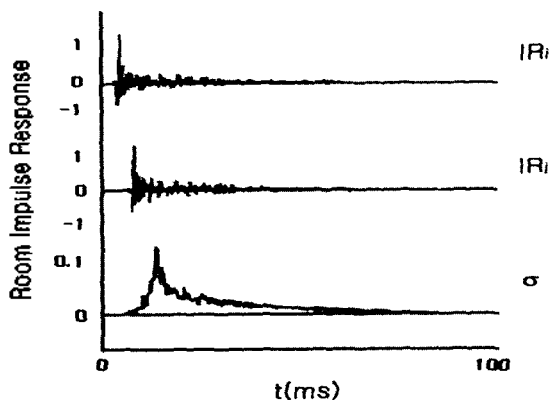


그림 2. 공간 임펄스 응답의 특성
Fig. 2. Characteristics of room impulse response.

필터 탭의 계수를 갱신한다.

ES 알고리즘은 VS 알고리즘의 한 종류로서, 복수의 계수조정 파라미터 값을 결정해 반향 제거기의 탭 계수를 갱신하며 계수조정 파라미터 값을 결정하는 기준으로서 측정된 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇠율을 이용한다. 식 (2), (3), (4)가 ES 알고리즘을 이용한 적응 필터의 탭 계수 갱신 과정을 설명한다.

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

식 (2)에서 A 는 행렬형 계수조정 파라미터를 의미하고, 식 (3)과 같이 정의된다.

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

이때, $\alpha_i, i=1, 2, 3, \dots, L$ 는 i 번째 입력에 대한 계수조정 파라미터 값이고, L 개의 계수조정 파라미터 값들은 측정된 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇠율 η 을 이용하여 식 (4)와 같이 α_1 부터 α_L 까지 지수 함수 형태로 일정하게 결정된다.

$$\alpha_i = \alpha_1 \cdot \eta^{(i-1)}$$

$$\eta = \exp\left(-6.9 \times \frac{T_S}{T_R}\right) \quad (4)$$

여기서 η 는 공간 임펄스 응답의 평균 에너지 감쇠율이고, T_S 는 샘플링 간격, T_R 는 공간의 반향 시간(reverberation time)을 나타낸다.

ES 알고리즘은 공간 임펄스 응답의 특성에 따라 결정된 행렬형 계수조정 파라미터를 이용해 필터의 탭 계수를 갱신함으로써 고정된 하나의 계수조정 파라미터만을 이용하는 NLMS 알고리즘에 비해 수렴 속도를 크게 증가시킨다. 일반적으로 ES 알고리즘은 NLMS 알고리즘에 비해 2배 이상의 빠른 수렴속도를 가진다. 그러나 ES 알고리즘을 불규칙적인 외부 잡음이 많이 발생하는 실제 환경에서 음향 반향 제거기에 적용할 경우 문제점이 발생한다. 외부 잡음들은 측정된 공간 임펄스 응답을 왜곡시키므로 ES 알고리즘에 의해 초기에 결정된 계수조정 파라미터 값들은 음향 반향 제거기의 수렴 과정에서 불규칙적으로 발생하는 외부 잡음에 효과적으로 사용되지 못한다. 이러한 문제점은 음향 반향 제거기의 전반적인 처리 과정에서 수렴 속도가 느려지거나 조절 오차값이 증가하게 되는

현상으로 나타난다.

III. 제안한 음향 반향 제거기

본 논문에서는 행렬형 계수조정 파라미터 생성기를 제안하고, 이것을 기존의 음향 반향 제거기에 추가하여 ES 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인함을 크게 향상시키고, 빠른 수렴 속도를 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 계수조정 파라미터는 두 개의 이동 평균기 (moving average operator)를 이용하여 결정되며, 이동 평균기의 동작에 의하여 외부 잡음의 영향을 제거하고 순수한 잔여 에러 신호에 대한 전력값만을 추출해 계수조정 파라미터 값을 결정하므로 유입되는 외부 잡음의 크기에 관계없이 음향 반향 제거기의 성능을 일정하게 유지시켜 준다. 이렇게 결정된 계수조정 파라미터들은 행렬형으로 적응 알고리즘에 적용되어 음향 반향 제거기의 수렴 속도를 향상시키고, 조절 오차값을 감소시키는 동작을 한다. 그림 3은 제안된 음향 반향 제거기의 구조를 보여주고 있다.

계수조정 파라미터 생성기는 마이크와 스피커 사이에서 발생하는 음향 반향 신호 $y(k)$ 와 적응 알고리즘을 이용한 음향 반향 제거 필터에 의해 결정된 반향 신호의 복사본 신호 $\hat{y}(k)$ 의 차인 잔여 에러 신호 $e(k)$ 의 전력 값을 이용하여 결정되며, 음향 반향 제거기가 동작하는 과정에서 실시간으로 결정된다. 그림 4는 계수조정 파라미터 생성기의 동작 구조를 보여준다.

계수조정 파라미터 생성기의 전반적인 동작 과정은 크게 세 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 음향 반향 제거기의 동작 과정에서 발생하는 잔여 에러 신호 $e(k)$ 와 외부 잡음 $n(k)$ 의 합에 대한 순간 에너지를 측정한다. 여기서 중요한 것은 실제 계산되는 값은 계수조정 파라미터 값을 결정하기 위해 필요한 $e(k)$ 의 평균 전력 값 이외에 외부 잡음 $n(k)$ 의 전력 값을 포함한 값이며, 이것의 영향으로 인하여 외부 잡음이 심할 경우 수렴 과정에서 성능 저하가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 두 번째 단계에서 두 개의 이동 평균기를 이용해 잔여 에러 신호의 평균 전력 값을 추정한다. 즉, 생성기에서 사용되는 두 개의 이동 평균기는 계수조정 파라미터 값을 결정하는

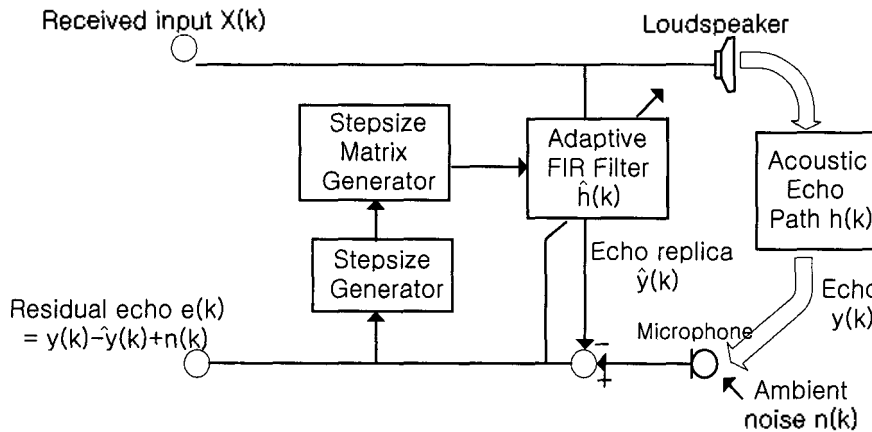


그림 3. 제안한 음향 반향 제거기 구조
Fig. 3. Structure of proposed acoustic echo canceller.

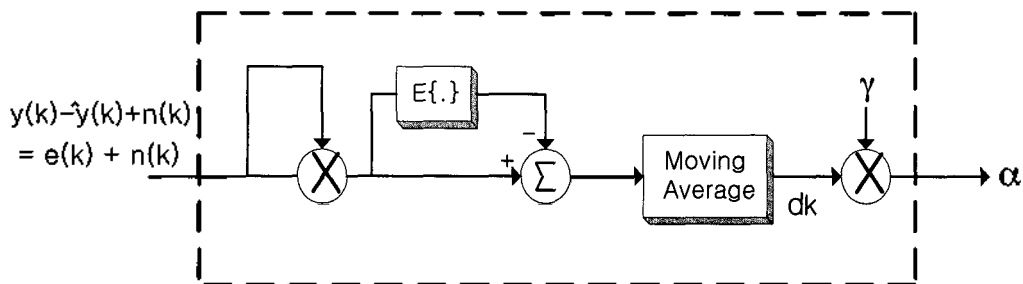


그림 4. 계수조정 파라미터 생성기 구조
Fig. 4. Structure of step size generator.

과정에서 음향 반향 제거기의 성능 저하 요인이 되는 외부 잡음의 영향을 제거해주는 동작을 한다[10]. 마지막 세 번째 단계에서는 ES 알고리즘에 따라 상수 γ 를 곱해서 음향 반향 제거기의 동작이 최적의 상태가 되도록 계수조절 파라미터 값을 결정한다.

위에서 설명한 계수조절 파라미터 생성기의 전반적인 동작 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$d_k = \frac{(n(k) + y(k) - \hat{y}(k))^2}{E[(n(k) + y(k) - \hat{y}(k))^2]} \quad (5)$$

$\bar{\cdot}$ 와 $E[\cdot]$ 은 각각 긴 구간 (long-term) 이동 평균기와 짧은 구간 (short-term) 이동 평균기를 의미한다. 식 (5)는 평균값 정리의 특성에 의해 다시 식 (6)과 같이 근사적으로 정리된다.

$$d_k \approx \frac{(n(k) + y(k) - \hat{y}(k))^2 - E[n(k)^2]}{n(k)^2 - E[n(k)^2] + 2n(k)(y(k) - \hat{y}(k)) + (y(k) - \hat{y}(k))^2} \quad (6)$$

$n(k)$ 는 평균 영인 백색 잡음으로 가정하고, $y(k)$ 와 $\hat{y}(k)$ 과 서로 상호 독립적 (mutually independent)이므로 식 (6)의 첫 번째와 두 번째 이동 평균값은 0에 근사하게 된다. 따라서 최종적으로 d_k 는 식 (7)과 같이 정리된다[10].

$$d_k \approx \frac{(y(k) - \hat{y}(k))^2}{(y(k) - \hat{y}(k))^2} \quad (7)$$

이 식에서 알 수 있듯이 계수조절 파라미터 생성기는 동작 과정에서 추가로 유입되는 외부 잡음 $n(k)$ 의 크기와는 독립적으로 잔여 에러 신호 $e(k)$ 의 전력값에 대한 평균을 매우 근사적으로 추정한다. 이는 ES 알고리즘을 이용해 계수조절 파라미터 값들을 결정할 때와는 달리, 주변 환경의 변화에 의한 외부 잡음 $n(k)$ 의 크기에 관계없이 계수조절 파라미터 값이 결정되어 음향 반향 제거기의 전체적인 성능이 일정하게 유지됨을 의미한다. 계수조절 파라미터 값 a 는 식 (8)과 같이 d_k 에 γ 를 곱해서 최종적으로 결정된다.

$$a = \gamma \cdot d_k \quad (8)$$

음향 반향 제거기의 필터 탭을 갱신할 때, 하나의 고정된 계수조절 파라미터 값보다 대각선 행렬 형태로 적용할

경우 수렴 성능이 향상됨을 알 수 있다[7]. 본 논문에서 제안된 행렬형 계수조절 파라미터 생성기는 계수조절 파라미터 생성기에 의해 결정된 계수조절 파라미터 값을 이용해 행렬 M 을 결정하게 되며 식 (9)와 같이 정의된다.

$$M = \begin{pmatrix} a_1 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & a_2 & \dots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & a_i & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & a_L \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 a_i 는 i 번째 계수조절 파라미터 값으로써 식 (4)와 같이 정의되며, a_1 는 식 (8)에서 결정된 a 와 동일한 값이다.

기존의 ES 알고리즘에서 사용되는 행렬형 계수조절 파라미터 값은 알고리즘의 특성상 공간 임펄스 응답을 측정하기 위한 장소의 음향학적 조건을 고정시켰기 때문에 음향 반향 제거기의 수렴 성능이 외부 잡음에 의한 공간 임펄스 응답의 왜곡에 크게 영향을 받는다. 그러나 제안된 행렬형 계수조절 파라미터 생성기에 의해 결정된 행렬 M 은 초기 계수조절 파라미터 값 a_1 이 외부 잡음에 영향을 제거하고 순수한 잔여 에러 신호만을 이용해 결정된 값이기 때문에 외부 잡음의 크기에 관계없이 음향 반향 제거기의 성능을 일정하게 유지할 수 있다.

IV. 성능 분석

성능 측정은 NLMS 알고리즘과 ES 알고리즘을 적용한 기존의 음향 반향 제거기, 그리고 본 논문에서 제안한 행렬형 계수조절 파라미터 생성기를 추가한 음향 반향 제거기의 수렴 특성을 외부 잡음의 크기에 따라 비교하였다. 먼저 수신 신호 $y(k)$ 는 8 kHz로 샘플링된 음성 신호를 이용하였고, 실험 장소의 음향 반향 시간 (reverberation time)은 500 msec로 고정하였다. 외부 잡음은 SNR이 각각 20 dB, 15 dB 그리고 10 dB인 백색 잡음을 이용하였다. 또한 본 논문에서 사용한 몇 가지 파라미터들은 성능 측정을 통해 최적화하였다. 계수조절 파라미터 생성기에서 사용되는 두 개의 이동 평균기에서 긴 구간 이동 평균기의 Leakage Factor는 2^{-25} 이고, 짧은 구간 이동 평균기의 Leakage Factor는 2^{-10} 로 결정하였다. 계수조절 파라미터 생성기에서 a 값을 결정하기 위해 사용된 상수 γ 는 0.08로 정하였다.

그림 5는 외부 잡음의 SNR이 20 dB, 15 dB, 10 dB 일

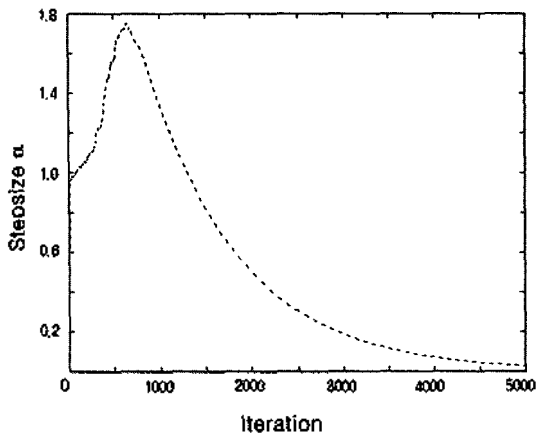


그림 5. 계수조정 파라미터 생성기에 의해 결정된 α 값의 변화
Fig. 5. Variation of α determined by stepsize generator.

때 각각의 계수조정 파라미터 생성기에 의해 결정된 계수 조정 파라미터 α 값들의 변화를 보여주고 있다 (3 종류의 그래프를 동시에 표시한 그림임). 이 결과를 통하여 제안한 계수조정 파라미터 생성기에서 사용된 두 개의 이동 평균기가 외부 잡음의 영향을 완전히 제거하여 세 가지 SNR에 대하여 모두 동일한 계수조정 파라미터 값을 생성함을 보여준다. 즉 계수조정 파라미터 생성기에 의해 음향 반향 제거기의 성능이 일정하게 유지될 수 있음을 의미한다. 또한 그림 5는 계수조정 파라미터 생성기의 결과 값이 외부 잡음의 발생과는 별도로 음향 반향 제거기의 수렴 정도에 대한 지표가 될 수 있음을 보여주기도 한다.

그림 6은 각기 다른 SNR의 외부 잡음이 발생할 경우에 대한 기존 ES 알고리즘의 수렴 특성을 보여준다. 이로부터 외부 잡음의 크기가 커질수록 ES 알고리즘의 전체적인 수렴 성능이 저하됨을 확인할 수 있고, 성능 측정 결과 ES 알고리즘의 수렴 특성은 마이크를 통해 유입되는 외부 잡음의 크기에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 크기가 각기 다른 외부 잡음에 대한 NLMS, ES, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 수렴 특성을 보여준다. 그림 7 (a)는 외부 잡음의 SNR이 20 dB일 경우 세 가지 알고리즘의 수렴 특성을 나타낸다. 세 가지 방식의 수렴 속도를 비교하면 NLMS 알고리즘에 비해 ES 알고리즘과 본 논문에서 제안된 알고리즘의 수렴 속도는 2배 이상 빠름을 알 수 있다. 그러나 ES 알고리즘보다는 제안된 방식의 수렴 속도가 더 빠르며 안정 상태에서의 잔여 에러량의 크기도 근소하게 작아지는 것을 알 수 있다. 따라서 유입되는 외부 잡음의 크기가 매우 작을 경우, ES 알고리즘과 제안된 알고리즘의 수렴 특성이 거의 유사함

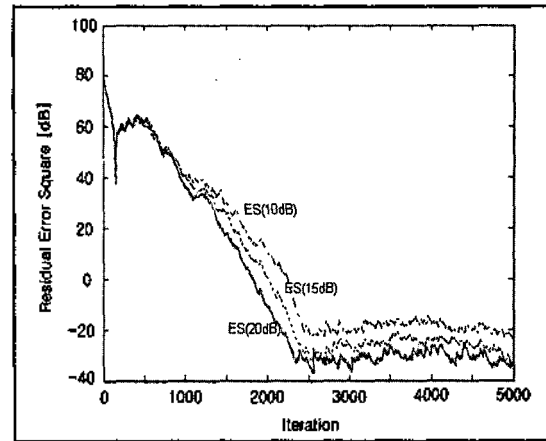
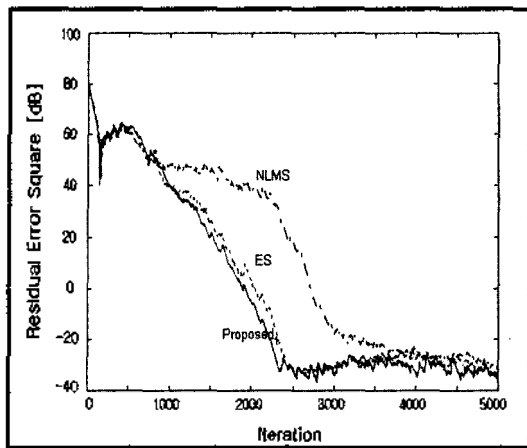


그림 6. 외부 잡음 변화에 대한 ES 알고리즘의 수렴 특성
Fig. 6. Convergence characteristics of ES algorithm with varying external noise level.

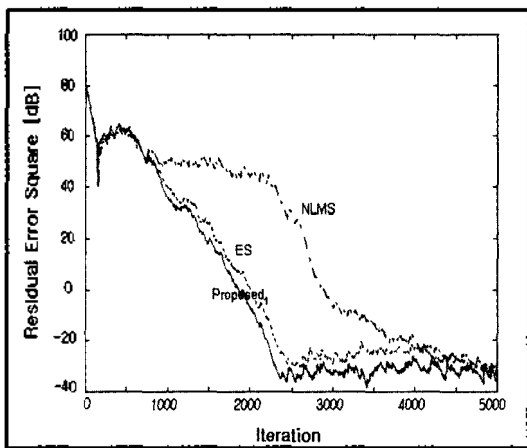
을 보여준다. 그러나 그림 7 (b)와 (c)와 같이 외부 잡음의 크기가 커져 신호의 SNR이 15 dB와 10 dB로 감소하면 ES 알고리즘에 비해 제안된 알고리즘의 잡음에 대한 강건함이 크게 향상됨을 알 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 수렴 속도는 유입되는 외부 잡음의 크기에 관계없이 늘 일정하게 유지되는 반면에 ES 알고리즘의 수렴 속도는 외부 잡음의 크기가 증가할수록 제안된 알고리즘의 수렴 속도에 비해 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 앞에서 측정한 NLMS, ES, 제안된 알고리즘의 수렴 속도를 외부 잡음의 크기별로 정리하여 보여주고 있다. 제안된 알고리즘의 수렴 속도는 외부 잡음에 영향을 거의 받지 않는 반면에 다른 알고리즘들의 수렴 속도는 외부 잡음의 크기가 커질수록 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이로부터 제안된 알고리즘의 수렴 속도가 다른 알고리즘들에 비해 빠르고 수렴 특성도 외부 잡음에 강인하다는 것을 알 수 있다.

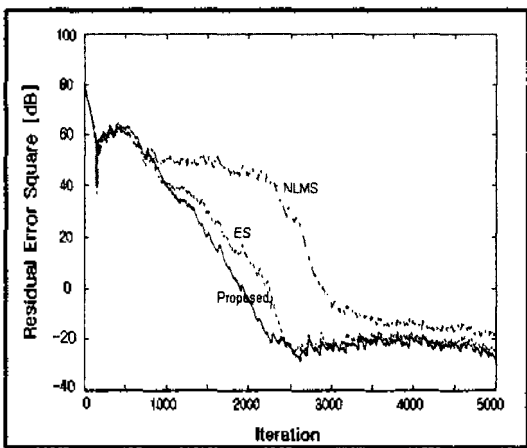
다양한 크기의 외부 잡음이 발생할 경우 세 가지 알고리즘의 수렴 특성을 모의 실험을 통해 비교해 본 결과, 제안된 알고리즘의 수렴 속도는 기본적으로 다른 두 알고리즘에 비해 빠른 것을 확인할 수 있었고, 외부 잡음의 크기가 증가할수록 기존의 NLMS 알고리즘이나 ES 알고리즘의 수렴 특성은 저하되는 반면에 제안한 알고리즘의 수렴 특성은 변화가 거의 없이 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 이러한 사실은 본 논문에서 제안한 알고리즘이 수렴 과정에서 음향 반향 제거기의 외부 잡음에 대한 강건함을 크게 향상시키고, 실제 환경에서 사용되는 음향 반향 제거기에 적용될 경우 다양한 주변 환경에 대하여 반향 현상을 효과적으로 제거해 주고 통화 품질을 크게



(a) SNR=20 dB



(b) SNR=15 dB



(c) SNR=10 dB

그림 7. NLMS, ES, 제안된 알고리즘의 수렴 특성
Fig. 7. Convergence characteristics of NLMS, ES, and proposed algorithm.

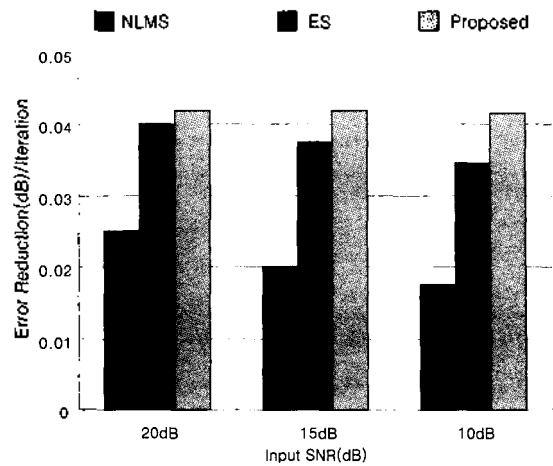


그림 8. NLMS, ES, 제안된 알고리즘의 외부 잡음의 크기별 수렴 속도

Fig. 8. Convergence speeds of NLMS, ES, and proposed algorithm.

개선시킬 수 있음을 보여준다

V. 결론

ES 알고리즘을 이용한 기존의 음향 반향 제거기는 수렴 속도가 빠른 장점을 가지지만 한정된 음향학적 조건에서 측정된 공간 임펄스 응답들의 평균 에너지 감쇠율을 이용해 계수조정 파라미터 값을 결정하는 알고리즘의 고유 특성 때문에 외부 잡음이 발생했을 경우 수렴 속도가 느려지거나 조절 오차값이 커지는 등, 음향 반향 제거 성능이 크게 저하되는 단점을 가진다. 본 논문에서는 외부 잡음에 강건하고 외부 환경에 관계없이 음향 반향 제거기의 수렴 성능을 일정하게 유지할 수 있도록 기존의 음향 반향 제거기에 행렬형 계수조정 파라미터 생성기를 추가하는 새로운 구조를 제안하였다. 다양한 잡음 환경에서 성능을 측정한 결과, 외부 잡음의 크기가 증가할수록 ES 알고리즘의 수렴속도는 감소하는 반면에 제안된 알고리즘은 초기의 빠른 수렴 속도를 일정하게 유지하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 제안한 알고리즘에 의해 외부 잡음의 영향이 완전히 제거되어 음향 반향 제거 과정에 전혀 영향을 주지 않음을 보여준다. 성능 측정 결과를 기초로 하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 통화 환경에서 사용되는 음향 반향 제거기에 적용할 경우, 불규칙적으로 발생하는 외부 잡음에 대하여 음향 반향 제거 성능을 일정하게 유지하여 전체적인 통화 품질을 향상시킬 수 있을 것이라고 예상된다.

감사의 글

본 연구는 광운대학교 2003학년도 교내 학술 연구비의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, 1st Edition, 1985.
2. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 3rd Edition, 1996.
3. F. Amano, H. P. Meana, A. de Luca and G. Duchen, "A multirate acoustic echo canceler structure," *IEEE Trans. on Communications*, 43, 2172-2176, July 1995.
4. J. Nagumo and A. Noda, "A learning method for system identification," *IEEE Trans. on Auto. Control*, 12 (3), 1967.
5. H.-C. Chen and O. T.-C. Chen, "A predictive updating scheme to improve the NLMS algorithm for acoustic echo cancellation," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 3, 1999.
6. K. Takahashi, T. Sakamoto and I. Tokisawa, "A cascadable echo canceler," *IEEE ICC*, 5F3.1-3.5, 1982.
7. S. Makino, Y. Kaneda and N. Koizumi, "Exponentially weighted stepsize NLMS adaptive filter based on the statistics of a room impulse response," *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, 11, 101-108, Jan. 1993.

8. J. F. Doherty and R. Porayath, "A robust echo canceler for acoustic environments," *IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 44 (5), 389-396, May 1997.
9. B. Ayad, G. Faucon and R. Le Bouquin-Jeannes, "Optimization of noise reduction preprocessing in an acoustic echo and noise controller," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 953-956, 1996.
10. A. Sugiyama, M. N. S. Swamy and E. I. Plotkin, "A fast convergence algorithm for adaptive FIR filters," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 892-895, 1989.

저자 약력

● 이 세 원 (Se-Won Lee)

2000년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사 과정
 * 주관심분야: 음성 신호처리, 적응 신호처리

● 박 호 중 (Hochong Park)

1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 12월: Univ. of Wisconsin-Madison, 전자공학과 (M.S.)
 1993년 5월: Univ. of Wisconsin-Madison, 전자공학과 (Ph.D.)
 1993년 9월~1997년 8월: 삼성전자 선임연구원
 1997년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 부교수
 * 주관심분야: 음성/오디오 신호처리, 통신 신호처리, 영상 신호처리