

유색잡음에 대한 적응잡음제거기의 성능향상

正會員 박 장 식*, 조 성 환**, 손 경 식**

Performance Improvement of Adaptive Noise Cancellor with the Colored Noise

Jang Sik Park*, Sung Hwan Cho**, Kyung Sik Son** *Regular Members*

요 약

LMS 알고리즘을 이용하는 적응잡음제거기는 입력음성신호에 의한 기울기 잡음 때문에 그 성능이 저하된다. 이러한 성능저하를 줄이기 위해서 적응예측오차필터를 이용한 음성 검출기를 이용한 적응잡음제거기가 제안되었다. 본 논문에서는 유색잡음에 대해서 잡음제거 성능을 향상시키기 위해서 잡음전달 경로를 추정하는 적응필터와 음성을 검출하는 적응예측오차 필터를 NLMS알고리즘에 비해서 유색 신호에 대해서 적응이 빠른 것으로 알려진 APA(affine projection algorithm)로 적응하는 적응잡음제거 알고리즘을 제안한다. 제안하는 적응알고리즘은 음성 검출기가 음성음을 검출하면 APA를 변형한 sign-error APA 알고리즘으로 적응함으로써 음성신호에 의해서 적응 필터의 계수가 오조정되는 것을 줄인다. 그리고, sign-error APA의 적절한 적응상수 설정에 대해서 다루었다. 제안하는 적응잡음제거 알고리즘이 기존의 방법에 비해서 성능이 우수함을 컴퓨터 시뮬레이션으로 보였다.

ABSTRACT

The performance of the adaptive noise canceller using LMS algorithm is degraded by the gradient noise due to target speech signals. An adaptive noise canceller with speech detector was proposed to reduce this performance degradation. The speech detector utilized the adaptive prediction-error filter adapted by the NLMS algorithm. This paper discusses to enhance the performance of the adaptive noise canceller for the colored noise. The affine projection algorithm, which is known as faster than NLMS algorithm for correlated signals, is used to adapt the adaptive filter and the adaptive prediction error filter. When the voice signals are detected by the speech detector, coefficients of adaptive filter are adapted by the sign-error affine projection algorithm which is modified to reduce the misalignment of adaptive filter coefficients. Otherwise, they are adapted by affine projection algorithm. To

*동의공업전문대학 영상정보처리과

**부산대학교 전자공학과

論文番號:97014-0113

接受日字:1997年 1月 13日

obtain better performance, the proper step size of sign-error affine projection algorithm is discussed. As results of computer simulation, it is shown that the performance of the proposed ANC is better than that of conventional one.

1. 서 론

정보를 담고 있는 신호와 배경잡음이 같이 존재하는 상황에서 원하는 신호만을 분리해 내고 배경잡음을 감쇄시키는 일련의 작업을 수행하는 것은 신호처리 분야에서 중요한 문제이다[1]. 실제의 경우 배경잡음을 감쇄시키는 과정에서 잡음의 통계적 특성을 알 수 없고 주위 환경이 계속 변하기 때문에 결정된 최적의 잡음제거 해를 구하기 어렵다. 입력신호의 통계적 특성변화와 주변환경에 따라서 필터의 계수를 적응시키는 적응잡음제거(ANC, adaptive noise cancellation)에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다[2]~[4].

일반적인 적응잡음제거는 잡음원 근처에 입력 마이크를 두고 기준신호(reference signal)로 입력하고, 특정한 경로를 통과한 잡음과 음성신호가 합쳐진 주신호(primary signal)를 적응필터로 입력시켜 음성신호를 분리한다. ANC의 적응필터의 적응에는 주로 LMS (least mean square) 알고리즘을 쓴다. 그러나, 다음의 두 가지 문제가 있다. 첫 번째는 LMS 알고리즘을 이용한 ANC는 적응필터의 주신호에 음성신호가 포함되어 계수의 오조성(misadjustment)이 커지는 문제가 있다. 정상상태에서 오조성을 줄이기 위해 적응상수를 적게 하면 오조성은 줄지만 수렴이 늦어진다[5]. 두 번째는 LMS 알고리즘은 입력신호의 스펙트럼특성이 유색이면 수렴이 늦어진다는 것이다[6].

수렴속도에 영향을 적게 받고 동시에 음성신호에 의한 오조성을 줄이려는 많은 연구는 다양하게 진행되었다[5][6]~[8]. Greenberg는 보청기(hearing aids)에서의 개환경로를 모델링하는 적응필터의 계수가 입력 음성신호에 의해서 오조성되는 것을 방지하기 위해서 적응상수를 입력신호와 적응잡음제거기의 출력신호의 전력으로 정규화 하는 서면적응상수로 적응필터의 계수를 적응시키는 알고리즘(이후로 Sum-LMS 알고리즘이라 부른다.)을 제안하였다[3]. 이 알고리즘은 전력이 큰 유성음구간에서 그 적응상수가 상대적으로 작아지기 때문에 적응필터의 계수오조성이 작

아지지만, 오차가 큰 수렴초기에도 적응상수가 작아지므로 수렴이 다소 느려진다.

기존 입력신호가 백색잡음이고 상관도가 있는 음성신호가 주신호(primary signal)로 입력될 때, 적응예측오차필터를 음성검출기로 활용하여 주신호로 입력된 음성신호의 유성음 구간과 묵음 및 수렴초기구간을 판별하여 적응알고리즘을 변환하는 방법들이 제안되었다. 에너지가 큰 유성음구간에는 음성신호의 영향을 줄이기 위해서 SA(sign algorithm)로 적응하고, 묵음 및 수렴초기 구간에는 LMS 알고리즘으로 적응하는 적응잡음제거 알고리즘(이후로 LMS-SA 결합 알고리즘이라 부른다.)이 제안되었다[9]. SA는 LMS 알고리즘의 변형으로 적응계수를 추정오차신호 대신 추정오차신호의 부호만으로 적응한다. 수렴속도를 향상시키기 위해서 LMS-SA을 개량하여 묵음 및 적응초기 구간에 가변적응인자 알고리즘(variable step-size algorithm)을 적용하는 방법이 제안되었다[10]. 두 적응잡음제거기는 입력잡음신호가 백색특성을 가진다는 것을 가정하였지만, 많은 응용분야에 대해서 이러한 가정은 부적합하고 유색잡음에 적합한 기술이 필요하다[11].

본 논문에서는 적응잡음제거기의 기준신호 입력이 유색인 경우 음성검출기를 가진 적응잡음제거기의 성능을 향상시킬 수 있는 구조를 제안한다. 음성검출기로 사용되는 적응예측오차 필터와 적응잡음제거 필터를 APA(affine projection algorithm)[12]로 적용하였다. APA은 NLMS(normalized least mean square) 알고리즘을 일반화한 알고리즘으로 유색신호에 대해서 수렴속도가 크게 느려지지 않는다[12]. 따라서, 주로 잡음이 제거된 음성신호가 입력되는 적응예측오차 필터의 수렴속도를 개선하여 음성검출성능을 향상시킨다. 본 논문에서는 적응예측오차 필터가 유성음으로 판별한 구간에서는 기존의 APA를 수정한 sign-error APA로 적응시켜 입력유성신호의 영향을 감소시켰다. 그리고 sign-error APA 알고리즘의 적응상수를 안정조건인 경계값으로 설정함으로써 sign-error

APA 알고리즘이 음성검출기의 역할을 보완하여 입력음성신호가 유성음에서 묵음구간으로 도입될 때 묵음구간 검출을 보조한다는 것을 밝혔다. 음성신호에 각각 백색잡음과 유색잡음이 더해진 경우에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로 제안된 방법의 ANC가 기존의 방법에 비해 성능의 향상됨을 보였다.

II. 기존의 ANC 구조

두 입력센서를 가진 적응잡음제거기의 구조는 그림 1과 같다. 일반적으로 두 개의 입력을 가지는 구조에서 기준입력신호는 적응필터의 입력이 되고, 음성신호와 잡음경로 $P(z)$ 를 지난 잡음신호 $n_2(k)$ 는 주입력신호 $d(k)$ 로 입력이 된다. 주입력신호와 적응필터의 출력신호 $y(k)$ 의 차신호 $e(k)$ 가 ANC의 출력이 된다.

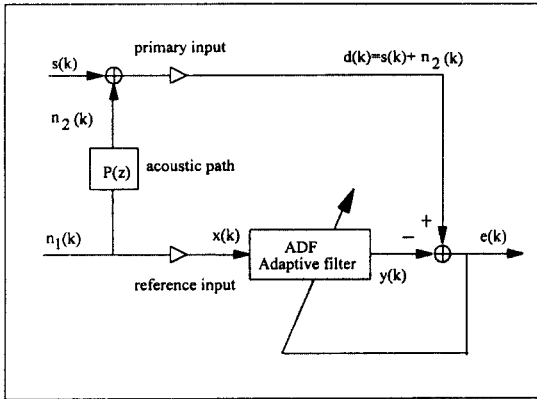


그림 1. 두 개의 입력센서를 가진 적응잡음제거 구조
Fig 1. The structure of adaptive noise cancellation with two input sensor

그림 1의 적응필터는 잡음의 음향경로를 추정함으로써 잡음을 제거한다. 적응 알고리즘으로는 구조가 간단하고 계산량이 적기 때문에 식(1), (2)로 표현되는 LMS 알고리즘을 주로 사용한다.

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (1)$$

$$W(k+1) = W(k) + 2\mu X(k) e(k) \quad (2)$$

$e(k)$ 는 주입력신호와 적응필터 출력간의 추정오차

신호이며 ANC의 출력신호이다. $W(k)$ 는 적응필터의 계수벡터, $X(k)$ 는 적응필터의 입력벡터이고 μ 는 적응상수이다. $E[e^2(k)]$ 를 최소화함으로써 적응필터가 최적값으로 수렴하고, $y(k)$ 는 $n_2(k)$ 를 근사적으로 추정하게 된다[2]. 따라서, 적응잡음제거기는 입력음성신호 $s(k)$ 에 근사한 출력신호 $e(k)$ 를 출력하게 된다. 그런데, 식(2)에 식(1)을 대입하면

$$W(k+1) = W(k) + 2\mu X(k) (n_2(k) - y(k)) + 2\mu X(k) s(k) \quad (3)$$

이다. 식(3)에서 적응필터가 수렴한 정상상태에서는 $y(k) \approx n_2(k)$ 이다. 따라서, 적응필터의 계수벡터 $W(k)$ 는 주로 음성신호 $s(k)$ 에 의해 적응되고, 음성신호의 에너지가 큰 유성음 구간에서 오조정이 커진다.

III. APA를 이용한 적응잡음제거

3.1 APA와 적응예측오차 필터를 이용한 음성검출기

정상상태에서 입력 음성신호에 의한 오조정을 줄이기 위해 그림 2는 상관도가 높은 성분을 제거하는 적응예측오차 필터(APE, adaptive prediction-error filter)를 음성검출기로 활용한 ANC 구조이다. 적응예측오차 필터는 ANC의 출력신호 $e(k)$ 를 입력으로 하고, 입력에 대해 상관도가 줄어든 출력신호 $v(k)$ 를 출력한다.

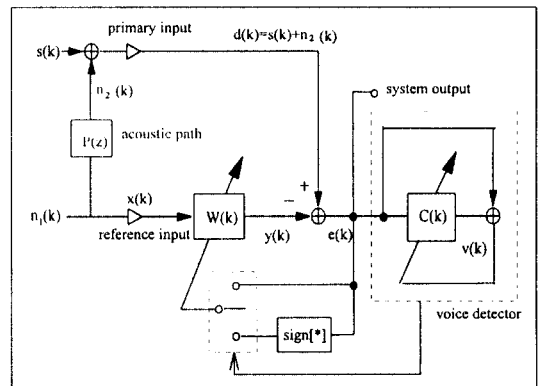


그림 2. 음성검출기를 가진 적응잡음제거기 구조
Fig 2. The structure of adaptive noise canceller using speech detector.

본 논문에서는 적응예측오차 필터를 이용한 음성 검출기의 성능을 향상시키고, 유색잡음에 대해서 적응잡음제거 필터의 수렴속도를 빠르게 하기 위해서 각각에 대해서 APA(affine projection algorithm)을 적용하였다. APA는 LMS 알고리즘에 비해서 유색입력 신호에 대해서 수렴속도가 빠르고[12], 계산량은 LMS 알고리즘에 비해서 다소 많지만, RLS 알고리즘에 비해서 적다[13]. 본 논문에서 계산량을 고려하여 투영(projection) 차수를 2차로 하는 2차 APA를 이용하였다[12][14][18]. 식(4)~(6)은 2차 APA를 나타낸다.

$$U(k) = X(k) - \frac{X^T(k) X(k-1)}{X^T(k-1) X(k-1)} X(k-1) \quad (4)$$

$$X(k) = [x(k) \ x(k-1) \ \dots \ x(k-L+1)]^T$$

$$X(k-1) = [x(k-1) \ x(k-2) \ \dots \ x(k-L)]^T$$

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\alpha}{U^T(k) U(k)} e(k) U(k) \quad (5)$$

$$e(k) = y(k) - W^T(k) X(k) \quad (6)$$

여기서 L은 적응필터의 차수이다. α 는 적응상수로써 적응계수가 안정한 적응을 위한 조건은 $0 < \mu < 2$ 이다. 식(4)의 $U(k)$ 는 $X(k-1)$ 에 대해서 $X(k)$ 방향으로 직교하는 성분벡터이다. 적응필터의 계수벡터 $W(k)$ 는 $X(k)$ 와 $X(k-1)$ 에 대해서 각각 수직인 계수벡터 평면들이 만나는 직선방향으로 적응하므로 $X(k)$ 에 대해서 수직인 평면으로 적응하는 LMS 알고리즘에 비해서 유색잡음이 입력될 때 수렴이 빠르다[12]. 식(5)는 기존의 NLMS 알고리즘과 동일하다. 2차 APA는 식(4)와 같이 입력신호의 상관도를 줄인 신호에 대해서 식(5)와 같이 NLMS 알고리즘으로 적응하기 때문에 일반화된 NLMS 알고리즘이라고도 불린다.

일반적으로 적응잡음제거기의 출력신호인 $e(k)$ 는 잡음이 제거된 음성신호이므로, 상관도가 크다. 적응예측오차 필터는 그 차수를 충분히 크게 하면 오조정을 크게 하는 유성음 구간에서 상관도가 높기 때문에 출력신호가 많이 감쇄되고, 적응예측오차 필터의 입력과 출력의 전력비는 작아진다. 따라서 적응예측오차 필터의 입력력 비를 식(7)~(9)에 따라 계산함으로써 유성음을 검출할 수 있다[9].

$$P_e(k) = \lambda_e P_e(k-1) + (1 - \lambda_e) e^2(k) \quad (7)$$

$$P_v(k) = \lambda_v P_v(k-1) + (1 - \lambda_v) v^2(k) \quad (8)$$

$$P_r(k) = \frac{P_v(k)}{P_e(k)} \quad (9)$$

$P_e(k)$, $P_v(k)$ 와 $P_r(k)$ 는 각각 오차신호의 추정전력, 적응예측오차 필터의 출력신호의 추정전력 그리고 입출력 전력비이다. λ_e 와 λ_v 는 전력추정을 위한 망각지수이다.

그런데, NLMS 알고리즘으로 적응예측오차 필터를 적용시킬 경우 수렴이 다소 느려진다. 적응예측오차 필터의 적응이 느리면, 묵음구간에서 유성음으로의 천이구간에서 잘못 검출할 수 있다. 따라서 상관도가 큰 음성신호에 대해서 적응이 NLMS에 비해서 빠른 APA로 음성검출기로 사용되는 적응예측오차 필터를 적용시킴으로써 보다 정확하게 유성음구간을 검출할 수 있다.

3.2 제안하는 적응잡음제거 알고리즘과 sign-error APA의 적응상수 선정

본 논문에서 적응예측오차 필터를 이용한 음성검출기가 묵음 및 적응천이구간으로 판단하면 수렴속도가 빠른 2차 APA로 잡음제거필터를 적용시킨다. 그리고, 음성검출기가 유성음구간으로 판단하면 에너지가 큰 유성음에 의해서 적응필터의 계수가 오조정되는 것을 방지하기 위해서 식(5)에 기술한 기존의 2차 APA를 수정하여 식(10)과 같이 추정오차신호의 부호로 적응필터의 계수를 적응한다. (식(10)의 알고리즘을 이후 sign-error APA라 부른다.)

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\alpha}{U^T(k) U(k)} \text{sign}[e(k)] U(k) \quad (10)$$

$$\text{sign}[e(k)] = \begin{cases} 1, & e(k) > 0 \\ -1, & e(k) < 0 \end{cases}$$

α 는 적응상수이다. 적응필터의 계수를 적응시킬 때, 추정오차신호의 부호만을 고려하기 때문에 적응필터의 추정오차신호의 크기를 1로 제한함으로써 APA 혹은 NLMS 알고리즘으로 적응하는 것에 비해서 입력음성신호에 의한 계수오조정을 줄일 수 있다[9]. 제안하는 적응잡음제거에서 묵음 및 천이구간과 유성음구간에 대한 적응 알고리즘을 정리하면 식(11)과

같다.

$$W(k+1) = \begin{cases} W(k) + \frac{\alpha_w}{P_U(k)} e(k) U(k), & P_r \geq P_{th} \text{ (silence)} \\ W(k) + \frac{\alpha_s}{P_U(k)} \text{sign}[e(k)] U(k), & P_r < P_{th} \text{ (voice)} \end{cases} \quad (11)$$

$$P_U(k) = \beta P_U(k-1) + (1-\beta) u^2(k)$$

α_w 와 α_s 는 각각 APA와 sign-error APA의 적응상수이다. β 는 $U(k)$ 의 전력을 추정하기 위한 망각지수이며 범위는 $0 < \beta < 1$ 이다. $P_U(k)$ 는 $U(k)$ 의 추정전력(running power estimate)이며 내적을 통한 계산보다 계산량을 다소 줄일 수 있다. P_r 과 P_{th} 는 각각 적응예측오차 필터의 입출력 전력비이며 묵음과 유성음을 구별하기 위한 임계값이다. P_r 가 P_{th} 보다 크면 묵음이나 적응 전이 구간을 판단하여 APA로 적응하고, P_r 가 P_{th} 보다 작으면 유성음구간을 판단하여 sign-error APA로 적응한다.

APA알고리즘을 일반화된 NLMS알고리즘이라 보면, LMS알고리즘과 SA(sign algorithm)의 정상상태 특성을 비교함으로써 sign-error APA를 포함한 일반적인 sign-error 알고리즘들의 입력음성신호 영향을 확인할 수 있다. 입력음성신호를 고려하여 LMS 알고리즘과 SA의 계수오조정 벡터의 자기상관행렬과 과잉평균자승오차(excess mean square error)에 대해 참고문헌 [15]를 따라 분석결과는 다음과 같다. 계수오조정벡터(misalignment vector), $V(k)$ 와 $V(k)$ 의 자기상관행렬 $K(k)$ 는 각각 식(12), 식(13)과 같이 정의한다.

$$V(k) = W_o - W(k) \quad (12)$$

$$K(k) = E[V(k) V^T(k)] \quad (13)$$

W_o 는 잡음전달경로의 계수벡터이다. LMS 알고리즘 $K(\infty)$

$$K(\infty) = \frac{\mu}{2} E[e^2(k)] I \quad (14)$$

이고, SA의 $K(\infty)$

$$K(\infty) = \frac{\mu}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} E[e^2(k)] I \quad (15)$$

이다. 적응필터가 충분히 적응했을 때 식(14)와 식

(15)를 비교하면, 추정오차신호는 음성신호를 추정하게 된다. 따라서, LMS 알고리즘의 $K(\infty)$ 는 입력음성신호의 전력에 비례하고, SA의 $K(\infty)$ 는 입력음성신호 전력의 제곱근에 비례함을 알 수 있다. 따라서 입력음성신호의 전력이 큰 유성음에서는 SA의 계수오조정이 LMS 알고리즘에 비해서 적음을 알 수 있다.

그리고, 입력음성신호를 고려한 LMS 알고리즘의 과잉평균자승오차는

$$J_{ex-LMS}(\infty) = \frac{\alpha(J_{\min} + \sigma_s^2)}{2-\alpha} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{\mu}{2} \sum_{i=0}^{L-1} \lambda_i$$

이다[3]. λ_i 는 i 번째 계수의 고유값(eigen-value)이고, σ_s^2 는 음성신호의 분산이다. J_{\min} 은 최소평균자승오차(minimum mean square error)이다. J_{\min} 은 최적필터의 평균자승오차이며, system identification 에서 적응필터의 차수를 충분히 크게 하면 0이 된다[16].

ANC의 입력음성신호를 고려한 SA의 과잉평균자승오차는 식 (17)과 같다.

$$J_{ex-SA}(\infty) = \frac{\alpha^2 + \alpha \sqrt{\alpha^2 + 4(J_{\min} + \sigma_s^2)}}{2} \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{\mu}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sum_{i=0}^{L-1} \lambda_i$$

식(17)에서 SA의 과잉평균자승오차는 입력음성신호 전력의 제곱근, $\sqrt{\sigma_s^2}$ 에 비례한다. 이러한 결과는 Cho와 Mathew[15]의 과잉평균자승오차에서 $J_{\min} + \sigma_s^2$ 에 J_{\min} 를 대신하면 일치한다. 따라서, 과잉평균자승오차가 σ_s^2 에 비례하는 LMS 알고리즘에 비해서 SA가 입력음성신호의 전력에서 계수오조정이 적고, 정상상태의 출력 SNR이 개선될 수 있다.

한편, SA의 안정한 적응을 위한 조건은 식(18)과 같다[15].

$$0 < \mu_{SA} < \sqrt{\pi} \frac{\sigma_e}{L\sigma_x^2} \quad (18)$$

L 은 적응필터의 차수이며 σ_x^2 는 입력신호의 분산이다. 식(18)에서 μ_{SA} 의 안정한 범위가 σ_e 에 의존함을 알 수 있다. 기준입력신호 $x(k)$ 가 통계적으로 정적(sta-

tionary)이라 가정하면, 입력음성신호의 전력이 큰 음성음구간에서는 적응상수의 최대값이 커지고, 묵음구간에서는 그 최대값이 작아지는 것을 알 수 있다. 입력신호의 전력만으로 sign-error 알고리즘의 적응상수를 $\mu_{SA} = \alpha/L\sigma_v^2$ 로 고정하면, 전력이 큰 음성음에서 sign-error 알고리즘은 안정한(stable) 적응을 하지만, 묵음구간에서는 적응필터가 불안정한(unstable) 적응을 한다. 적응필터의 불안정한 적응은 추정오차신호의 상관도를 적게 한다. 따라서, 묵음구간에서의 적응 예측오차 필터의 입출력신호의 전력비는 상대적으로 1에 가까워지므로 음성음에서 묵음으로 전이하는 구간에서 묵음 검출을 보조한다.

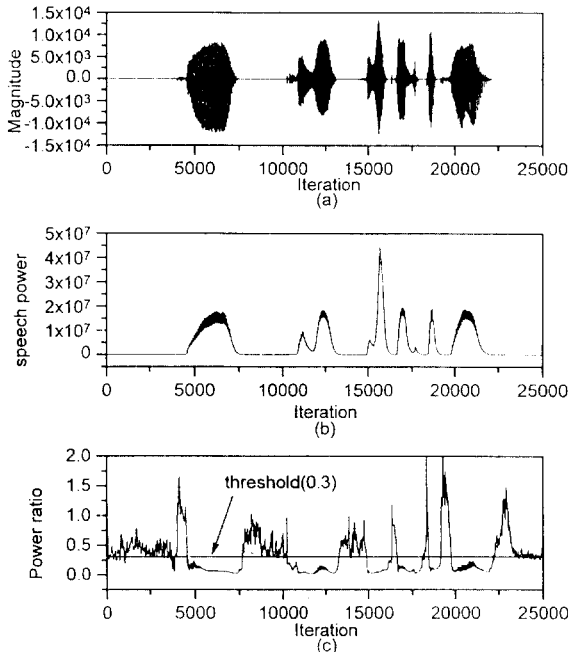


그림 3. 입력음성신호의 전력과 음성검출기의 동작
Fig. 3. Power of the input speech signal and the operation of the speech detector.

그림 3의 (a)는 입력음성신호이고, (b)는 입력음성신호의 전력을 그린 것이다. (c)는 음성검출기의 입출력 전력비이다. 입출력 전력비가 음성음구간에서는 낮아지고, 묵음구간에서는 그 값이 커진다. 그리고 묵음구간에서는 임계값을 기준으로 APA와 sign-error APA가 교대하지만 주로 APA로 적응을 한다. 따라서

입력음성신호의 전력이 크지 않은 묵음구간에서는 APA를 적용함으로써 빠르게 계수조정을 개선할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

기존의 NLMS 알고리즘과 Greenberg가 제안한 Sum-LMS 알고리즘을 제안하는 적응잡음제거 알고리즘과 그 성능을 비교하였다. 잡음전달 경로는 32차 FIR 필터를 사용하였고 적응필터의 차수도 잡음 전달경로의 길이 32차로 두었다. 음성신호는 8 kHz로 샘플링 되었고, 잡음신호는 입력SNR 이 0 dB가 되도록 가우스분포의 백색잡음신호와 유색잡음을 각각 사용하였다. 유색잡음신호는 식(15)의 AR 프로세스 신호를 이용하였다.

$$x(k) = 0.9x(k-1) + 0.91x(k-2) + 0.09x(k-3) - 0.5x(k-4) + a(k) \quad (19)$$

$a(k)$ 는 평균이 0인 백색신호이고, $x(k)$ 는 AR 프로세스의 출력신호로써 유색잡음신호이다.

제안하는 적응잡음제거기의 성능을 평가하기 위해서 NLMS 알고리즘과 Greenberg의 Sum-LMS 알고리즘에 대해서 그 성능을 비교하였다. Greenberg는 식(20)과 같이 입력신호의 전력과 추정오차신호의 전력의 합으로 정규화 하는 시변적응상수를 이용하였다.

$$\mu_{sum}(k) = \frac{\alpha}{L(\sigma_v^2(k) + \sigma_e^2(k))} \quad (20)$$

α 는 적응상수이고, σ_v^2 와 σ_e^2 은 각각 입력신호와 추정오차신호의 분산이다. Sum-LMS 알고리즘은 입력신호와 추정오차신호의 전력합으로 적응상수를 정규화 함으로써 추정오차신호 속에 포함된 입력음성신호의 전력이 커지면 적응상수값이 작아져서 계수조정을 줄일 수 있다.

적응잡음제거기의 적응상수는 misadjustment를 10%로 두는 것이 일반적이다[19]. 따라서 NLMS 알고리즘과 Greenberg의 Sum LMS 알고리즘의 적응상수는 0.1로 두었다. 제안한 알고리즘의 적응상수는 묵음 및 적응전이 구간에 적용하는 APA의 적응상수는 기존의 두 알고리즘과 같이 0.1로 두고, 음성음구간에 적

용하는 sign-error APA의 적응상수는 묵음구간의 전력을 고려하여 10.0으로 두고 실험하였다. 유성음검출을 위한 적응예측오차 필터의 적응상수는 0.01로 계수를 적용하였다. 음성신호가 없을 때 적응예측오차 필터의 전력비가 0.3 정도에서 일정하게 유지되었다. 따라서 유성음과 묵음 및 적응천이 구간의 판별을 위한 적응예측오차 필터의 입출력 전력비의 임계값을 0.3으로 두고 실험했다. 전력추정에 사용된 망각지수(forgetting factor)들은 0.99로 두었다. 각각의 알고리즘에 대한 성능비교를 위해서 SNR과 segmental SNR 및 계수부정합(system mismatch), $E[V^T(k)V(k)]$ 를 [17] 식(21)로 계산했다.

$$W_{var}(k) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} (W_k(i) - W_o(i))^2}{\sum_{i=0}^{L-1} W_o^2(i)} \quad (21)$$

$W_o(i)$ 는 잡음전달경로의 i 번째 계수이고 $W_k(i)$ 는 시간 k 의 i 번째 적응필터 계수이다. $W_{var}(k)$ 는 시간 k 에서의 계수부정합으로써, 잡음전달경로와 적응필터의 오조정 정도를 나타낸다. 입력 SNR은 0 dB가 되도록 조정하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4와 그림 6은 백색잡음에 대해 각각 계수부정합과 SNR 및 segmental SNR을 비교하였다. 그림 5와 그림 7은 유색잡음에 대한 시뮬레이션 결과를 각각 계수부정합과 SNR 및 segmental SNR으로 비교하였다.

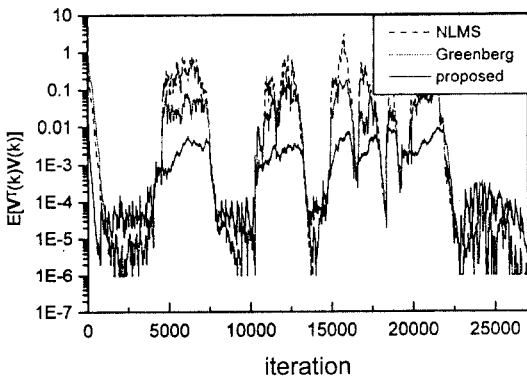


그림 4. 백색잡음에 대한 적응필터의 계수부정합
Fig 4. System mismatch of adaptive filter to white noise

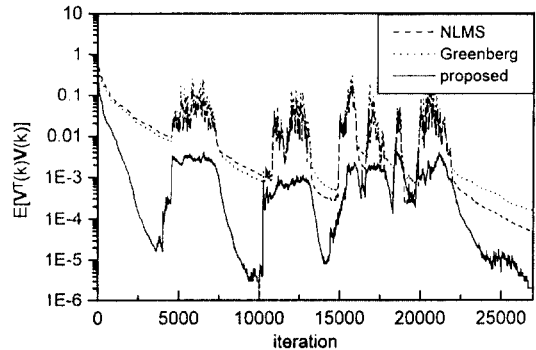


그림 5. 유색잡음에 대한 적응필터의 계수부정합
Fig 5. System mismatch of adaptive filter to colored noise

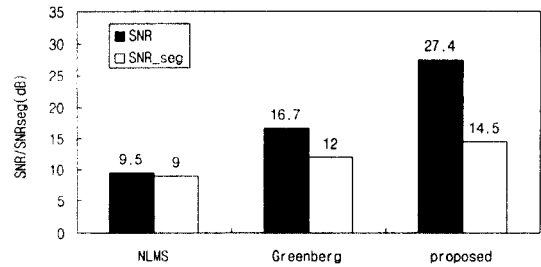


그림 6. 백색잡음에 대한 SNR 및 segmental SNR 비교
Fig 6. SNR and segmental SNR comparison to white noise

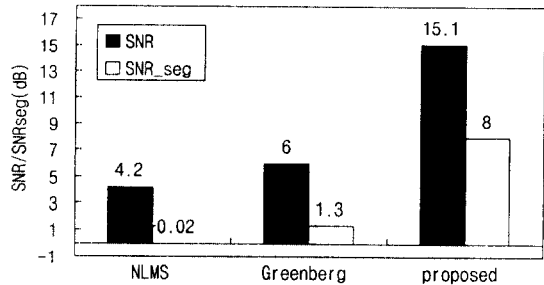


그림 7. 유색잡음에 대한 SNR 및 segmental SNR 비교
Fig 7. SNR and segmental SNR comparison to colored noise

입력신호가 백색잡음일 때 각 알고리즘의 계수 오조정을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 NLMS 알고리즘은 계수오조정이 입력음성신호의 전력에 비례하므로 유성음 구간에서 계수 오조정이 크게 일어난

다. 그리고 Greenberg 가 제안한 Sum-LMS 알고리즘은 적응상수를 식(16)과 같이 정규화 함으로써 계수 오조정이 유성음 구간에서 감소한 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 유성음구간에 대해서 sign-error APA 알고리즘으로 적응함으로써 추정오차신호가 1로 정규화되어 추정오차신호의 음성신호에 의한 계수오조정이 크게 감소한다. 그림 5에서는 입력신호가 유색잡음일 때, 각 알고리즘의 계수 오조정을 비교하였다. APA나 sign-error APA는 입력신호를 백색화하여 입력신호의 고유값의 분포를 균일하게 함으로써 유색의 입력신호에 대해서 수렴속도가 NLMS 알고리즘이나 Sum-LMS 알고리즘보다 빠른 것을 확인할 수 있다.

그리고 그림 6과 그림 7에서는 잡음제거기의 성능을 SNR과 segmental SNR로 비교했다. 그림 6에서 백색잡음에 대해서 Sum-LMS 알고리즘에 비해서 SNR과 segmental SNR이 각각 약 10 dB, 2.5 dB 정도 개선되었다. 그림 7에서는 유색잡음에 대해서 SNR과 segmental SNR이 9 dB, 6dB 정도 개선되었다. SNR과 segmental SNR의 개선은 과잉최소자승오차기 NLMS 알고리즘은 입력음성신호의 전력에 비례하고, 추정오차신호의 부호만으로 작용하는 sign-error APA는 음성신호 전력의 제곱근에 비례하기 때문이다.

V. 결 론

LMS 알고리즘을 이용한 적응잡음제거기는 입력음성신호에 의해서 그 적응계수가 오조정된다. 이러한 계수오조정을 감소시키기 위해서 Sum-LMS, LMS-SA 알고리즘 등이 제안되었으나 입력 잡음신호가 주로 백색잡음인 것으로 가정하였다. 본 논문에서는 입력신호가 유색잡음인 경우에 대해서 적응잡음제거기의 성능을 향상시키는 적응잡음제거 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 적응잡음제거기의 적응필터는 입력음성신호의 북음구간과 유성음구간에 대해서 APA과 이를 수정한 sign-error APA로 작용한다. 그리고, 유성음 검출을 위한 적응에측오차 필터의 계수도 APA로 적응함으로써 유성음 검출을 보다 정확하게 하였다. 그리고, sign-error APA의 적응성수를 북음구간의 전력에 맞춰 적절한 값을 선정함으로써 음성검출기의 역할을 보조함을 보였다. 컴퓨터시뮬레이션을 통

해서 제안하는 적응잡음제거기가 기존의 방법보다 유색잡음에 대해서 segmental SNR과 SNR 이 각각 7 dB와 9 dB 정도 개선되었다.

참 고 문 헌

1. William A. Harrison, J. S. Lim and Elliot Stinger, "A new application of adaptive noise cancellation," IEEE Trans. ASSP, Vol. ASSP-34, No. 1, pp. 21-27, Feb., 1986.
2. B. Widrow et al. "Adaptive noise cancelling: principles and applications," Proc. IEEE, Vol. 63, pp. 1692-1716, Dec., 1975.
3. J. E. Greenberg, "Improved design of microphone-array hearing aids," MIT, PhD. Thesis, Sep, 1994.
4. Joseph A. Maxwell and Patrick M. Zurek, "Reducing acoustic feedback in hearing aids," IEEE Trans. Speech and Audio Processing, Vol. 3, No. 4, pp. 304-313, July, 1995.
5. Alex C. Orgren, Soura Dagupta, Charles E. Rohrs and Norbert R. Malik, "Noise cancellation with improved residuals," IEEE Trans. ASSP, Vol. ASSP-39, No 12, pp. 2629-2639, Dec., 1991.
6. Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1990.
7. 손경식, 선용기, "마상관 잡음제거를 위한 적응잡음제거 시스템 및 알고리즘," 전자공학회 논문지, 제26권, 제1호, pp. 129-139, 1989년 1월.
8. 김대경, 박장식, 김형순, 김재호, 손경식, "DSP를 이용한 적응보상기가 있는 적응잡음제거기의 하드웨어 구현," 한국통신학회 논문지, 제20권, 7호, pp. 1885-1895, 1995년 7월.
9. 박장식, 김형순, 김재호, 손경식, "음성신호로 인한 잡음진된 강도의 오조정을 감소시킨 적응잡음제거 알고리즘," 한국통신학회 논문지, 제21권, 5호, pp. 1172-1179, 5월 1996년.
10. 김장기, 박장식, 배종갑, 손경식, "적응에측오차 필터를 가진 적응잡음제거기에서의 수렴율 향상에 관한 연구," 1996년도 제9회 신호처리학동학술대회 논문집, 제9권 pp. 15-19, 1996년 10월.
11. Mati Wax, Jacob Sheinvald and Anthony J.

Weiss, "Detection and localization in colored noise via generalized least squares," IEEE Trans. SP. Vol. 44, No. 7, pp. 1734-1734, July, 1996.

12. K. Ozeki and T. Umeda, "An adaptive filtering algorithm using an orthogonal projection to an affine subspace and its properties," Electronics and Communications in Japan, Vol. 67-A, No. 5, pp. 126-132 1984.(in Japanese)
13. Masashi Tanaka, Yutaka Kaneda, Shoji Makino and Junji Kojima, "Fast projection algorithm and its step size control," ICASSP 95, Detroit, Michigan, Vol. 2, pp. 945-948, May, 1995.
14. Yann Guelou, Abdelkrim Benamar and Pascal Scalart, "Analysis of two structure for combined acoustic echo cancellation and noise reduction," ICASSP 96, Atlanta Georgia, Vol. 2, pp. 637-640, May, 1996.
15. V. J. Mathew and Sung Ho Cho, "Improved convergence analysis of stockastic gradient adaptive filters using the sign algorithm," IEEE Trans. ASSP., Vol. 35, No. 4, pp. 450-454, April, 1987.
16. B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. pp. 196-197, 1985.
17. O. Tanrikulu and A. G. Constantinides, "The LMS algorithm with time-varying forgetting factor for adaptive system identification in additive output-noise," ICASSP 96, Atlanta Georgia, Vol. 3, pp. 1851-1854, May, 1996.
18. Shoji Makino, Josef Noebauer, Yoichi Haneda, Akira Nakagawa, "SSB subband echo canceller using low-order projection algorithm," ICASSP 96, Atlanta Georgia, Vol. 3, pp. 945-948, May, 1996.
19. Steven F. Boll and Dennis C. Pulsiper, "Suppression of acoustic noise in speech using two microphone adaptive noise cancellation," IEEE Trans. ASSP., Vol. ASSP-28, No. 6, pp. 752-755, Dec., 1980.

손 경 식(Kyung Sik So)

정회원

한국통신학회 논문지, 제21권 제5호 참고



박 장 식(Jang Sik Park) 준회원

1965년 11월 15일생

1992년 2월: 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 2월: 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1994년 3월~현재: 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1997년 3월~현재: 동의공업전문대학 영상정보처리과 전임강사

※주관심 분야: 디지털신호처리, 적응신호처리, 음향신호처리



조 성 환(Cho Sung Hwan) 준회원

1972년 2월 17일생

1996년 2월: 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1996년 3월~현재: 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정

※주관심 분야: 적응신호처리