1999년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제18권 제1(s)호

# ANC를 위한 적응알고리즘의 성능분석

윤 범 수[0], 안 재 현, 홍 광 석
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 휴먼컴퓨터연구실

# Performance Analysis of Adaptive Algorithm for ANC

Bumsoo Yoon, Jaehyun Ahn, Kwang-Seok Hong
School of Electrical and Computer Engineering ,Sung Kyun Kwan University
ybs0111@ece.skku.ac.kr, ajh0206@ece.skku.ac.kr, kshong@yurim.skku.ac.kr

**요 약**

본 논문은 사무실 환경에서의 소음 제어를 목표로 하여 두 센서를 이용한 ANC시스템을 모의 실험 하였다. 특히 제어가 어려운 광대역 신호를 제어하는데 그 목적을 두고 적응 알고리즘의 성능분석을 하였다.

실험 결과 Delayed-x LMS는 200Hz이상에서는 좋은 성능을 보이지만 200Hz 미만의 저주파에서는 잡음 신호를 완전하게 제어하기가 어렵다는 결과를 얻었다.

## 1.서 론

소음 제어 기술에 있어서 잡음을 줄이는데는 두 가지 방법이 사용되어 왔다. 하나는 수동 소음 제어이고 또 다른 하나는 능동 소음 제어이다.

수동 소음 제어란 소음원(noise source)이나 혹은 그 주위에 흡음제를 사용하는 방법으로 고주파에서의 소음 제어 성능은 뛰어나나 저주파에서의 소음은 효과적으로 제어할 수 없는 단점을 가지고 있다. 반면에, 능동 소음 제어는 위상이 180° 반전된 역 위상 신호를 발생시켜 소음의 감쇠가 일어나게 하는 방식으로써 저주파에서의 소음을 효과적으로 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 두 개의 센서를 이용하여 능동 소음 제어 모델을 구성했다.

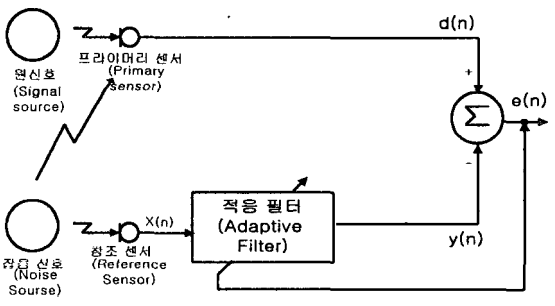


그림 1. 적응 소음 제어 모델

[그림1]과 같은 모델을 구성한 후 프라이머리 센서에 정보신호와 백색 잡음이 첨가 될 때 백색 잡음을 제어하기 위해 여러 가지 알고리즘을 적용하여 적응 알고리즘의 성능 분석을 모의 실험했다.

위의 실험에서 능동 소음 제어 시스템의 원 신호에 백색 잡음이 첨가되었을 때 적응 알고리즘으로 백색 잡음을 추정하여 원 신호에 첨가된 백색 잡음을 제어함으로써 원 신호를 복원하는 데 그 목적을 두었다.

## 2. 적응 알고리즘

### 2-1. LMS 알고리즘

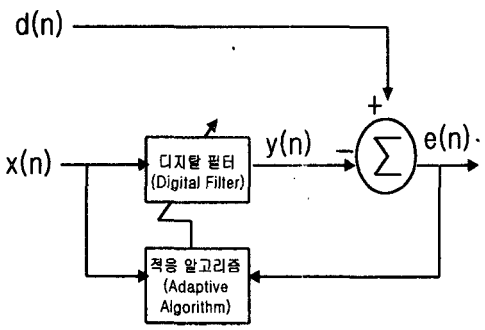


그림 2. 기본 소음 제어

[그림2]는 기본 소음 제어도를 나타낸 것이다. 필터계수의 차수를 N-1이라고 하면 적응필터의 출력 y(n)은 식(1)과 같이 컨벌루션으로 표현 할 수 있다.

$$y(n)=\sum_{i=0}^{N-1} w_i(n)x(n-i) \qquad (1)$$

$$y(n)=X^T(n)W(n)=W^T(n)X(n) \qquad (2)$$

여기서, X(n)은 입력벡터, W(n)은 필터 계수벡터를 의미한다. 그리고, 추정오차 e(n)을 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$e(n)=d(n)-y(n)=d(n)-W^T(n)X(n) \qquad (3)$$

식(3)에서 T는 전치(transpose)를 나타낸다.

이때 평균자승오차 $E[e^2(n)]$은 식(4)와 같다.

$$E[e^2(n)] = E[d^2(n)] + W^T(n)E[X(n)X^T(n)]W(n) - 2E[d(n)X^T(n)]W(n) \quad (4)$$

$R_{xx}$를 입력에 대한 자기상관행렬(autocorrelation matrix)

$$R_{xx} = E[X(n)X^T(n)] \quad (5)$$

이라하고 $R_{xd}$를 입력(x(n))과 요구응답(d(n))에 대한 교차상관행렬(crosscorrelation)로 표현할 수 있다. 이때 평균자승오차를 최소화하는 필터계수를 구해보면

$$\nabla = \frac{\partial E\{e^2(n)\}}{\partial W} = 2R_{xx}W^* - 2R_{xd} = 0 \quad (6)$$

으로부터

$$W^* = R_{xx}^{-1}R_{xd} \quad (7)$$

가 되면 이 값을 위너해 (Wiener solution)라고 한다. LMS 알고리즘은 gradient를 이용하여 적응필터의 계수를 위너해에 근사시키는 방법으로

$$\frac{\partial E[e^2(n)]}{\partial W(n)} = -2E[e(n)X(n)] \quad (8)$$

이 되고 이 값을 이용하여 위너해에 근사시키는 필터식은

$$W(n+1) = W(n) + \mu E[e(n)X(n)] \quad (9)$$

이고 여기서, $\mu$는 스텝크기(step size)이다. 식(9)에서 기울기 추정(gradient estimation)으로 one-step sample mean을 사용하여 근사화 한 것이 LMS 알고리즘이다. 즉, LMS의 필터식은

$$W(n+1) = W(n) + \mu e(n)X(n) \quad (10)$$

이 된다. 식(10)이 안정적으로 수렴하려면 스텝크기는 식(11)을 만족해야 한다.[1]

$$0 < \mu < \frac{1}{(L+1)\sigma_x^2} \quad (11)$$

여기서 $L$은 차수, $\sigma_x^2$은 입력신호의 파워를 의미한다.

### 2.2 Filtered - x LMS 알고리즘

능동 소음 제어 시스템의 2차 음원 신호의 전달경로를 살펴보면 [그림 1]에서 보는 바와 같이 적응필터에서 나온 2차의 안공신호가 음향계(acoustic domain)와 전기계(electronic domain) 사이에 존재하는 여러 가지 변환기를 통과한 후 마이크로폰의 오차신호로 입력된다. 이렇게 입력된 LMS의 오차신호는 식(3)과 다른 값을 갖게 되고 따라서 능동 소음 제어 시스템에서 적응필터의 계수가 잘 수렴하기 위해서는 위의 오차경로의 특성을 잘 고려하여야 한다.

이러한 계(domain)의 특성을 고려하여 문제점을 보완한 것이 Filtered-x LMS 알고리즘(FXLMS)이다.

[그림3]은 기본 능동 소음 제어 블록 선도이다. 여기서,

$$S(z) = R(z)S'(z) \quad (12)$$

로 표현 된다.

입력 센서에서 오차 신호까지의 프라이머리 전달 함수(primary transfer function) $P(z)$는 식(13)과 같이 표현 된다.

$$P(z) = R(z)P'(z) \quad (13)$$

그러므로, 오차신호의 z 변환은 식(14)와 같이 표현 할 수 있다.

$$E(z) = R(z)[P'(z) - S'(z)W(z)]X(z) \quad (14)$$

그리고, $W(z)$의 최적 전달함수는

$$W(z) = \frac{P'(z)}{S'(z)} \quad (15)$$

가 된다

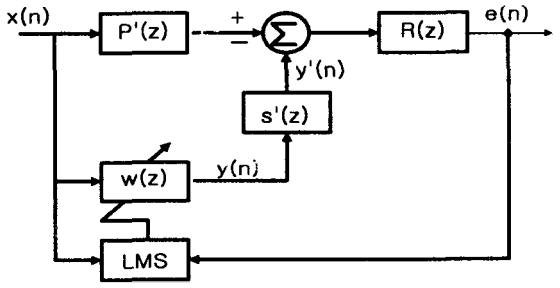


**그림 3 능동 소음 제어 블록 도면**

[그림3]을 간단히 나타내면 [그림 4]과 같이 나타낼 수 있다.

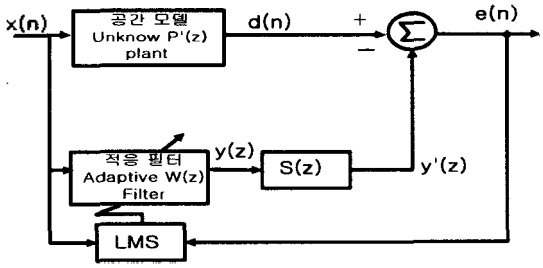


**그림 4. 능동 소음 제어 시스템의 간략도**

[그림4]로 부터 오차 신호를 표현하면

$$e(n) = d(n) - y'(n) = d(n) - s(n)^* y(n) = d(n) - s(n)^*[w^T(n)x(n)] \quad (16)$$

$$w(n+1) = w(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \hat{\xi}(n) \quad (17)$$

$$\nabla \hat{\xi}(n) = \nabla e^2(n) = 2[\nabla e(n)]e(n) \quad (18)$$
$$e(n) = -s(n)^* x(n) = -x'(n)$$

이다. 여기서,

$$x'(n) = s(n)^* x(n)$$

이다.

그러므로, 기울기 추정(gradient estimation)은

$$\nabla \hat{\xi}(n) = -2x'(n)e(n)$$

이 된다.

이 식을 식(17)에 대입하여 FXLMS 알고리즘을 구할 수 있다.[2]

$$w(n+1) = w(n) + \mu x'(n)e(n) \quad (19)$$

여기서, $x'(n) = \hat{s}(n) * x(n)$이다.

실제 ANC 응용에서 $S(z)$는 공간 모델링이고 부가적인 필터 $\hat{S}(z)$에 의해 추정된다. 그러므로,

$$x(n) = \hat{s}(n) * x(n)$$

이다.

이상의 FXLMS를 [그림5]에 나타내었다. 만약 $\hat{s}(n) = s(n)$ 이라면 [그림6]과 같이 나타낼 수 있다.

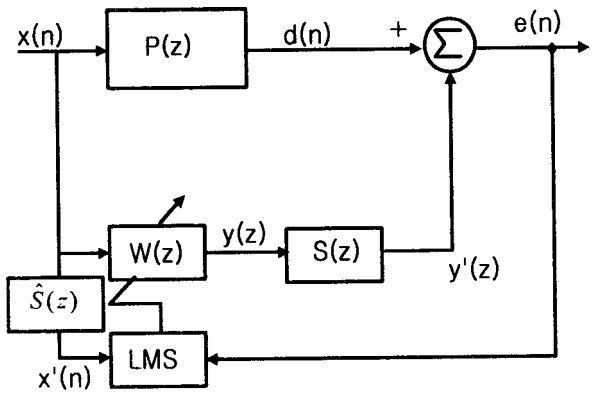


**그림 5. FXLMS 알고리즘을 이용한 능동 소음 제어의 블록도**

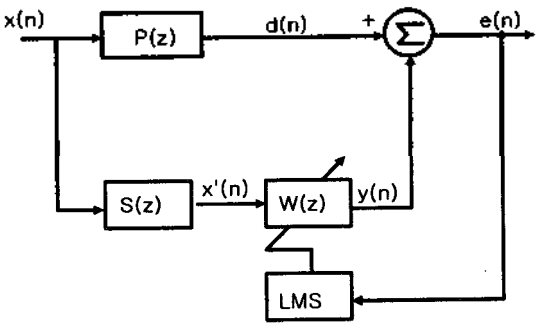


**그림 6. $\hat{S}(z) = S(z)$인 경우 그림5 의 간략도**

### 2.3 Delayed - x LMS 알고리즘[3]

본 논문에서 모의 실험에 적용한 Delayed-x LMS 알고리즘은 [그림6]에서 $S(z)$가 순수 지연(delay)만 존재한다고 가정한 것이다.

Delayed-x 알고리즘은 다음과 같다.

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n-\triangle)e'(n) \quad (20)$$

여기서,

$$e'(n) = d(n-\triangle) - w^T(n-\triangle)x(n-\triangle) \quad (21)$$

는 지연된(delayed) 오차신호이다.

스텝크기(step size) $\mu$의 범위는,

$$0 < \mu < \frac{2}{P_x(L+2+2\triangle)} \quad (22)$$

이고, 여기서 $P_x = E[x^2(n)]$이다.

## 3.모의 실험 및 결과

### 3-1. 실험 모델

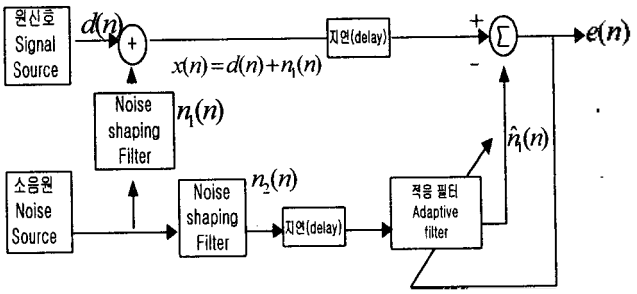


**그림 7. 능동 소음 제어 시스템(ANC system)**

본 논문에서 사용된 실험 시스템은 [그림7]과 같다. 원 신호는 정현파 신호로 하였고, 잡음 신호로는 평균은 0이고, 분산은 0.7인 백색 잡음을 첨가 했다.

모의 실험은 백색 잡음이 섞인 신호에서 백색 잡음을 추정하여 원 신호에 첨가된 백색 잡음을 제어하는 시스템을 구성하였다.

### 3-2.모의 실험 결과

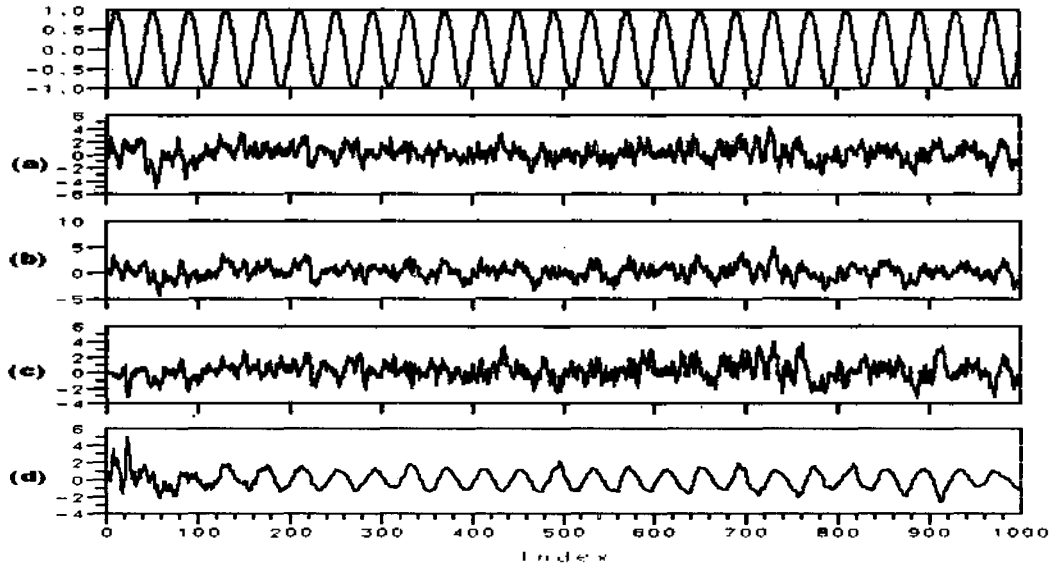


그림 8. ANC에 대한 그림 결과

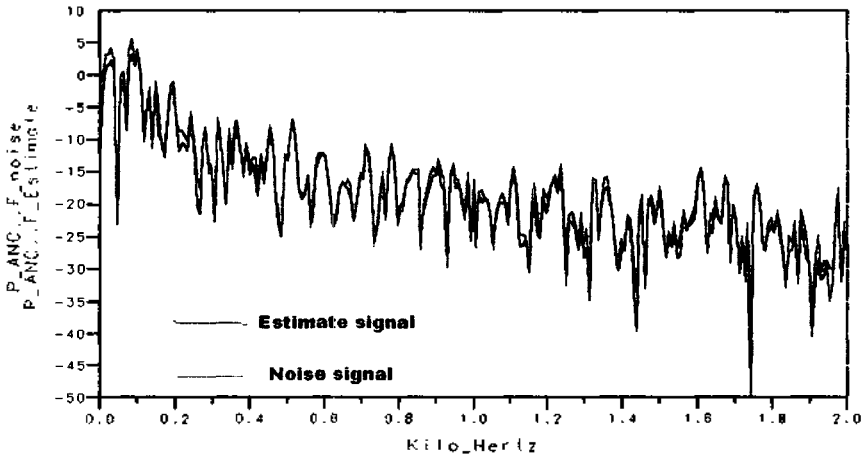


그림 9. 추정 신호와 잡음 신호

[그림8]에서 첫 번째 그림은 원 신호이고 (a)는 필터를 통과한 잡음 신호이고 (b)는 원 신호와 잡음 신호가 섞인 신호를 공간 모델링(delay)에 첨가한 그림이고 (c)는 추정 신호이며 (d)는 복원 신호이다.

[그림9]는 잡음 신호(a)와 추정 신호(c)를 표현한 것이다.

## 4.결 론

본 논문에서는 자유실환경에서 광대역 잡음을 능동 소음 제어방식으로 소음 제어를 하는 모의 실험을 하고, 적응 알고리즘의 하나인 Delayed-x LMS 알고리즘의 소음 제어 성능 분석을 하였다.

실험 결과 Delayed-x LMS 알고리즘은 능동 소음 제어(ANC) 시스템에서 200Hz 이상에서는 우수한 성능을 나타내고 있다. 그러나, 200Hz이하에서는 제어하기에는 어렵다는 단점을 가지고 있다.

### 참고 문헌

[1].Bernard Widrow, Samuel D.Stearns,"Adaptive Signal Processing",1985 by prentice hall

[2].Sen M.Kuo, Dennis R.Morgan, "Active Noise Control System",John Wiley & Sons,INC.,pp68

[3].Guozhu Long, et al,"The LMS Algorithm with Delayed Coefficient Adaptation", IEEE Trans. Acoust. Speech. and Signal Processing, vol ASSP-37, no 9, pp1397-1405, September 1989.