

능동소음제어기에서 라우드스피커 특성 및 음향 시간지연을 추정하기 위한 망각형 지연 LMS 알고리즘

正會員 權 奇 龍*, 正會員 宋 奎 翼**, 正會員 李 健 一**

A Leaky Delay LMS Algorithm to Estimate Loudspeaker Characteristic and Acoustic Time Delay in Active Noise Control System

Ki-Ryong Kwon*, Kyn-Ik Sohng**, Kuhn-Il Lee** Regular Members

要 約

본 논문에서는 능동소음제어기에서 라우드스피커 특성 및 오차음경로의 음향시간지연을 추정하기 위한 망각형 지연 LMS 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 계산량을 줄이기 위하여 추정이득과 음향시간지연을 사용한다. 이득과 음향시간지연을 추정하기 위한 필터의 입력신호로는 입력 마이크로폰 신호와 적응필터 출력의 차를 이용하며, 망각형 지연 알고리즘은 비 정상상태의 소음신호를 제어하는데 있어서 필터 계수들의 발산을 막기 위한 것이다. 제안방법의 타당성은 300[Hz]의 정현파 및 실제 공조기의 덕트소음에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였으며, 소음레벨이 각각 평균 20.0 및 12.7dB 감소되었다.

Abstract

In this paper, a leaky delay LMS algorithm to estimate loudspeaker characteristic and acoustic time delay of error path is proposed for active noise control system. This algorithm is used estimation gain and acoustic time delay to reduce the computational burden. The difference between input microphone signal and adaptive filter output signal is used for input signal of filter to estimate gain and acoustic time delay. The leaky delay algorithm is employed to counteract parameter drift when noise in nonstationary environment is controlled. To confirm the validity of the proposed method, the sinusoidal signal of 300[Hz] and noise of the practical airconditioning duct are performed in computer simulation. The proposed leaky delay LMS algorithm reduces noise level about 20.0dB for the sinusoidal signal of 300[Hz] and 12.7dB for the duct noise.

* 昌原專門大學 電子通信科
(Dept. of Elec. Comm., Changwon Junior College)

** 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook National Univ.)

論文番號 : 94253

接受日字 : 1994年 9月 17日

1. 서 론

소음제어는 크게 수동소음제어와 능동소음제어로 나눌 수 있다. 수동소음제어에서는 주로 흡음이나 차음을 이용하여 소음을 감쇠시키고, 능동소음제어에서는 소음과 동일한 진폭을 가지면서 역상인 인위적인 제 2의 음을 인가하여 소음을 상쇄시킨다.^{[1]-[3]} 송풍기, 엔진, 압축기 등에서 발생하는 소음과 같이 주요 주파스펙트럼 성분이 500[Hz]정도 이하의 낮은 주파수대에 분포하는 소음을 수동제어할 경우에는 흡음재나 차음재의 크기가 너무 커지고 시설에 많은 경비가 소요되는 등의 문제가 따른다. 따라서 이 경우에는 능동소음제어가 효과적이다.

Lueg^[4]는 소음을 마이크로폰으로 감지하고 이를 증폭한 역상의 음파를 소음경로에 라우드스피커로써 인가하는 개루프(open loop)방식의 능동소음제어를 최초로 제안하였다. 그 이후 이에 대한 연구는 전자기술의 한계성 등으로 별다른 진전이 없었으나, 최근 고속 디지털 프로세서의 급속한 발달로 Widrow^[5]의 적응시스템 이론을 하드웨어적으로 실현하게 되므로서 이를 이용하는 능동소음 제어의 연구도 활발히 이루어지고 있다.^{[6]-[9]} Burgess^[10]는 Widrow^[5]의 filtered -X LMS 알고리즘을 이용한 능동소음제어기를 제안하였다. 이 제어기에서는 적응필터의 출력으로부터 라우드스피커까지의 전기적 경로 및 라우드스피커에서 오차 마이크로폰까지의 오차음경로 각각의 전달함수를 제어모델에 포함시켜 소음을 효과적으로 제거할 수 있게 하였다. 그러나 이들 전달함수를 결정하는 방법에 대하여는 언급이 없었다. Eriksson^[11]등은 소음발생기를 이용하여 라우드스피커 및 오차음경로 각각의 전달특성을 온라인(online)으로 인식하는 새로운 모델을 제시하였다. 이 모델에서는 소음발생기의 음을 라우드스피커 및 오차음경로를 인식하는 필터의 입력기준신호로 사용하였는데, 이 음이 새로운 소음원으로 될 수 있으며, 이렇게 될 경우 알고리즘의 성능은 저하된다.^[12] Snyder^[13]은 오차음경로의 전달특성에 단지 음향시간지연 성분만을 고려하여 입력필터의 계산량이 적은 능동소음제어 모델을 제시하였다. 그러나 이 모델에서도 라우드스피커 및 오차음 경로의 음향시간지연 특성을 오프라인으로 측정하여야 하는 문제점을

갖고 있다.

본 논문에서는 라우드스피커 및 오차음경로의 음향 시간지연 특성을 온라인으로 추정하는 망각형 지연 LMS 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 계산량을 줄이기 위하여 추정이득과 음향시간지연을 사용하였다. 이득과 음향시간지연을 추정하기 위한 필터의 입력신호로는 입력 마이크로폰 신호와 적응필터 출력의 차신호를 이용한다. 제안한 망각형 지연 알고리즘은 불규칙적으로 변화하는 비 정상상태의 소음신호를 제어하는데 있어서 필터계수들의 발산을 막기 위한 것이다. 제안 방식의 타당성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 하였다. 실험에 사용한 입력 소음으로는 정현파 음 및 실제의 공조기 덕트의 소음을 사용하였으며, 각 실험 결과를 기존의 Snyder의 것과 비교 검토하였다. 오차음 경로의 전달특성 중에서 음향시간지연 성분만을 고려하는 간단한 방식을 공조기의 덕트시스템에 적용한 실험의 경우, 300[Hz]의 정현파 음 및 실제의 공조기 덕트소음에 대하여 소음레벨이 각각 평균 20.0 및 12.7dB 감쇠되었다. 이들 값은 Snyder의 방식에서 음향시간지연 인자를 완벽하게 인식하는 가상적인 이상형의 결과에 비하여 실제의 공조기 덕트소음에 대하여 평균 1.4dB정도 덜 감쇠된 것에 불과한 우수한 값이다.

II. 적응 능동소음제어 모델

1. 기본 구성

능동소음제어에서는 입력소음신호에 이와 동일한 진폭을 갖는 역상의 라우드스피커 음을 인가하여 소음을 상쇄시킨다. 폐환 구조를 갖춘 능동소음제어모델의 블록도는 각각 그림 1에서와 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 소음원으로 부터의 소음 $x(n)$ 을 입력 마이크로폰 M1으로 측정하여 이를 제어기의 입력으로 사용하고, 이 제어기의 출력 $y(n)$ 으로 라우드스피커 LS를 구동시킨다. 이 경우 라우드스피커의 출력음은 라우드스피커 위치에서의 소음 $r(n)$ 과 역상이면서 진폭이 동일하여야 한다. 그러나 이들이 서로 완전히 동일하지 못할 경우에 상쇄되지 못하고 남은 오차소음 $e(n)$ 을 제 2의 마이크로폰 즉, 오차 마이크로폰 M2로

써 감지하여 제어기로 변환시킨다. PO는 입력 마이크로폰에서 라우드스피커까지의 음향 플랜트의 전달 함수이다. W는 하중벡터로서 전기적인 필터를 나타내며, 이는 $x(n)$ 과 $e(n)$ 을 입력으로 하여 이 필터의 계수를 새롭게 조정한다. 이 그림에서, H_s 및 H_m 은 각각 라우드스피커 및 마이크로폰의 전기적 전달함수이고, H_e 는 오차음경로의 음향 전달함수를 나타낸 것이다.

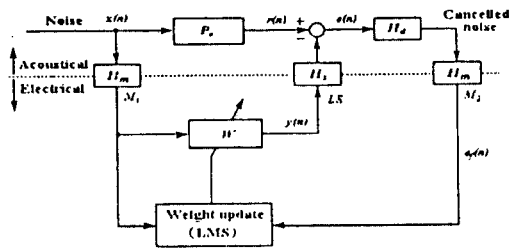


그림 1. 일반 능동소음제어의 블럭도
Fig. 1. Block diagram of the typical active noise control system

2. Snyder 모델

총래의 LMS 알고리즘을 이용한 소음제어 모델에서는 라우드스피커 및 오차음경로의 전달특성이나 음향시간지연 성분을 고려하지 않아 수렴특성이 좋지 않은 경우가 있다. 즉, LMS 알고리즘을 능동소음제어기에 직접 적용하기에는 문제가 있다. Snyder 등은 오차음 경로의 전달특성에 단지 음향시간지연 성분만을 고려하여 입력필터의 계산량이 적은 능동소음제어 모델을 그림 2에서와 같이 제시하였다. 이 그림에서 H_s 는 라우드스피커의 전달특성, H_m 은 마이크로폰의 전달특성, Δ 는 오차음경로의 음향시간지연인자 그리고 d 는 추정음향시간 지연인자이다. 입력신호는 적응 알고리즘에 사용하기 전에 H_s, H_m 및 d 샘플만큼 시간지연된 Δ 의 추정치와 컨볼루션한다. 이는 실제 덕트와 같은 시스템에서 오차음경로의 전달함수는 시간지연이 주성분이므로 안정도를 보장하는 범위에서 입력필터의 계산량을 적게하기 위함이다. 그러나 이 방식도 오프라인 방식으로서, Δ 및 H_s 의 추정이 온도, 유속 및 경면 등에 따라 변하는 실제 시스템에 적용하

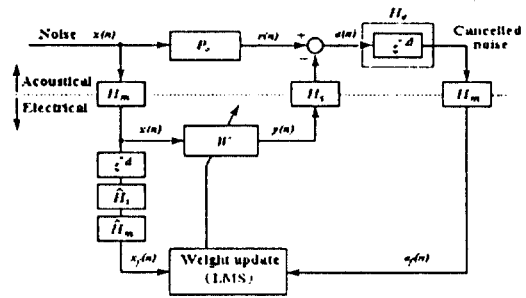


그림 2. Snyder의 음향시간지연의 모델의 블럭도
Fig. 2. Block diagram of Snyder's acoustic time delay model.

기에는 시스템 안정성의 문제가 있다. 따라서 시간에 따라 변하는 Δ 및 H_s 를 온라인으로 추정할 수 있는 모델이 필요하다.

III. 음향시간지연 추정 망각형 지연 LMS 알고리즘의 제안

실제 덕트시스템은 오차음경로의 전달특성 중에서 음향시간지연성분만을 고려하여도 제어의 안정성을 보장하는 범위에서 별문제가 없는 경우가 대부분이다. 음향시간지연을 온라인으로 추정하는 제한한 망각형 지연 LMS 알고리즘 모델은 그림 3에서와 같다. 라우드스피커의 특성 H_s 및 음향시간지연인자 Δ 를 추정하는 필터 c 및 d 는 소음발생기나 별도의 오차음 측정 마이크로폰을 사용하지 않고 입력 마이크로폰 M1의 신호 $x(n)$ 과 적응필터 출력 $y(n)$ 과의 차신호 $e_2(n)$ 을 사용한다. 제한한 알고리즘에 사용한 이득인자 c 는 차신호 $e_2(n)$ 및 오차신호 $e(n)$ 을 사용한다. 추정 음향시간지연인자 d 는 이득인자 c 와 차신호 $e_2(n)$ 및 후치 차분법(backward difference method)을 이용한 오차신호 $e(n)$ 을 사용한다. 추정한 c 및 d 를 적응필터의 입력에 복제시켜 적응필터가 안정되게 동작하도록 한다. 또한 실제의 덕트 시스템에서는 외부의 랜덤잡음도 유입되므로 라우드스피커 및 M2에 유입되는 랜덤잡음 $g_1(n)$ 및 $g_2(n)$ 을 모델에 반영하였다. 단, M1에 유입되는 랜덤잡음은 $x(n)$ 에 포함시켰다.

그림 3에서 이득 c 및 음향시간지연인자 d 의 계수 추정은 다음과 같이 한다. 즉,

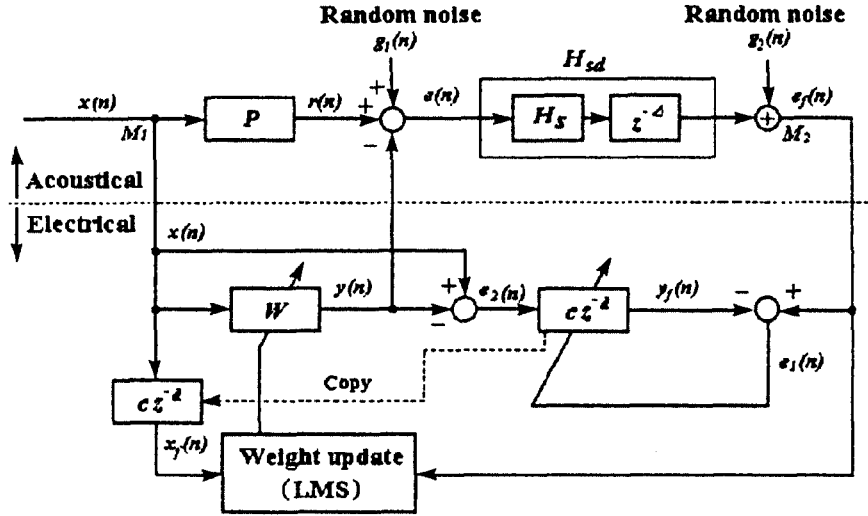


그림 3. 제안한 음향시간지연을 추정하는 망각형 지연 LMS 모델의 블록도
Fig. 3. Block diagram of proposed leaky delay LMS model estimation acoustic time delay.

$$x_f(n) = x(n) * (cz^{-d}) = cx(n-d) \quad (1)$$

$$r_f(n) = h_s(n) * r(n-\Delta) \quad (2)$$

$$y(n) = W^T(n) X(n) \quad (3)$$

$$e_2(n) = x(n) - y(n) \quad (4)$$

$$y_f(n) = e_2(n) * (cz^{-d}) = ce_2(n-d) \quad (5)$$

$$e(n) = r(n) - y(n) + g_1(n) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} e_1(n) &= e(n) - y_f(n) \\ &= e(n) - ce_2(n-d) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} e_f(n) &= e(n) * (h_s(n) * z^{-\Delta} + g_2(n)) \\ &= h_s(n) * e(n-\Delta) + g_2(n) \\ &= h_s(n) * (r(n-\Delta) - W^T(n-\Delta) X(n-\Delta) \\ &\quad + g_1(n-\Delta)) + g_2(n) \end{aligned} \quad (8)$$

이다. 여기서 $X(n)$ 은 입력소음이고, $X_f(n)$ 은 필터링된 입력소음신호이다.

c 및 d 는 각각 이득 및 음향시간지연인자의 스칼라 값이다.

적용필터의 하중벡터 $W(n)$ 의 최적값은 filtered-X LMS 알고리즘

$$W(n+1) = W(n) + 2\mu e_f(n) X_f(n), \quad (9)$$

와 같다. 이 식에서 음향오차 출력신호 $e_f(n)$ 으로는 식(8)을 사용한다.

c 및 d 의 최적값을 구하기 위한 평균자승오차 ξ_{\min} 은

$$\begin{aligned} \xi_{\min} &= E[e_f^2(n)] \\ &= E[\{e_f(n) - y_f(n)\}^2] \\ &= E[\{e_1(n) - ce_2(n-d)\}^2] \end{aligned} \quad (10)$$

이며, c 의 최적값을 구하기 위하여 ξ_{\min} 에 대한 경사법 알고리즘을 사용한 추정 기술기 $\nabla \xi_{\min}$ 은

$$\begin{aligned} \nabla \xi_{\min} &= \frac{\partial e_1^2(n)}{\partial c} \\ &= 2e_1(n) \frac{\partial e_1(n)}{\partial c} = -2e_1(n) e_2(n-d) \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 따라서 c 를 새롭게 조정하기 위한 스칼라 계수 $c(n+1)$ 은

$$c(n+1) = c(n) + \mu_c (-\nabla \xi_{cmin}) \\ = c(n) + 2 \mu_c e_1(n) e_2(n-d(n)) \quad (12)$$

이다. 여기서 μ_c 는 c 의 수렴인자이다. 또한 $d(n)$ 의 최적값을 구하기 위한 추정기울기 $\nabla \xi_{cmin}$ 은

$$\nabla \xi_{cmin} = \frac{\partial e_1^2(n)}{\partial d(n)} \\ = 2e_1(n) \frac{\partial e_1(n)}{\partial d(n)} \quad (13) \\ = -2e_1(n)c(n)e_2(n-d) \quad (-1) \\ = -2e_1(n)c(n)[e_2(n-d(n)) - e_2(n-d(n)+1)]$$

이다. 여기서 e_2 의 미분성분은 후치 차분법을 이용하여 구한다. 이는 소음데이터가 비정상상태이므로 현재의 소음데이터를 중심으로 했을때 앞으로 들어올 데이터 추정하기가 어렵고 이미 입력된 바로 전 소음데이터와의 차를 이용하여 기울기를 구하는 기법이다. $d(n)$ 을 새롭게 조정하기 위한 스칼라 계수 $d(n+1)$ 은

$$d(n+1) = d(n) + \mu_d (-\nabla \xi_{dmin}) \\ = d(n) + 2 \mu_d e_1(n)c(n)[e_2(n-d(n)) - e_2(n-d(n)+1)] \quad (14)$$

이다. 여기서 μ_d 는 $d(n)$ 의 수렴인자이다.

본 논문에서 망각형 지연 LMS 알고리즘에 사용한 망각인자는 비 정상상태의 소음신호를 제어하는데 있어서 덕트의 길이가 길어서 음향시간지연이 많이 발생할 경우 필터계수들이 발산 (parameter drift)을 초래하기 쉽다. 이는 필터의 계수들이 계속 증가하기 때문이다. 따라서 망각인자는 필터계수들의 발산을 막기 위해 미지의 시스템 계수를 추정하는데 있어서 음향시간지연이 많이 생길경우 과거의 값을 빨리 망각하게 하여 시스템의 성능을 개선시킨 것이다. 음향시간지연 모델의 망각형 지연 LMS 알고리즘은

$$W(n+1) = (1-\mu_w \alpha) W(n) + 2 \mu_w e_f(n) X_f(n) \quad (15)$$

이다. 여기서 α 는 필터계수들의 발산을 막기 위한 망각인자들이다.

Synder의 모델은 라우드스피커의 특성 및 오차음경로의 음향시간지연인자를 추정하는데 있어서 오프

라인으로 측정하여 이것을 필터의 입력시스템으로 사용하였다. 그러므로 이 방식은 라우드스피커의 특성 및 오차음경로의 음향시간지연 성분이 경년 및 온도, 유속, 먼지 등에 따라 변하는 실제 시스템에 적용하기에는 시스템의 안정성에 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 라우드스피커의 특성 및 오차음경로의 음향시간지연인자를 온라인으로 추정하는 망각형 지연 LMS 알고리즘을 제안하였다. 음향시간지연을 온라인으로 추정하는 망각형 지연 LMS 알고리즘은 오차음경로의 음향시간지연인자를 스칼라적 계산으로 추정함으로써 다경로 시스템에서와 같이 계산이 복잡한 시스템에 적합하다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 음향시간지연 추정 망각형 지연 LMS 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 입력신호로는 인위적인 정현파신호와 일반 공조기의 덕트계로 전파되는 실제의 소음을 각각 10[kHz]로 표본화하여 16비트로 A/D 변환시켜 사용하였다. 제안한 알고리즘에서는 필터 탭 계수를 32개 사용하였으며, 시변 전달함수를 갖는 플랜트 $F(z)$ 로는

$$P_0(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (A \cdot e^{-\beta i}) z^{-i} \quad (16)$$

을 사용하였다. 여기에서 L 은 필터의 차수이며, 덕트 단면의 크기는 850×350[mm]이고, 마이크로폰에서 라우드스피커까지의 길이가 1000[mm]인 실제 시스템을 사용하였다. 외부에서 부가되는 랜덤잡음은 마이크로폰 M2 및 M3에 모두 분산이 1.5인 가우스 잡음을 입력시키도록 하였다.

시변 특성을 갖도록 모델링한 라우드스피커의 특성 $H_s(z)$ 및 오차음경로의 전달함수 $H_e(z)$ 는 각각

$$H_s(z) = \sum_{i=0}^{N-1} (h_s \pm \alpha_i) z^{-i} \quad (17)$$

$$H_e(z) = \sum_{i=0}^{N-1} (h_e \pm \beta_i) z^{-i} \quad (18)$$

를 사용하였다. 여기서 N 은 필터의 차수이며, h_s 및 h_e 는 각각 라우드스피커 및 덕트의 임펄스 응답이

다. α_i 및 β_i 는 각각 $H_s(z)$ 및 $H_e(z)$ 의 전달특성을 변하게 하기 위한 랜덤상수이다. 이 식은 시판되는 일반 저음용 라우드스피커의 특성과 위에서 논한 일반 공조기 덕트의 음향 전달특성을 고려한 것으로서, 이의 주파수 특성은 그림 4에서와 같이 변한다고 가정하였다. 단, 일반적인 콘덴서 마이크로폰의 전달 특성은 본 제어 시스템에서 이용하는 전 주파수대역에 걸쳐 평탄함으로 본 논문에서도 마이크로폰의 전달특성은 이상적인 것으로 간주하였다.

제안한 알고리즘에서 음향지연인자는 10개라고 가정하였는데, 이는 음향신호가 라우드스피커와 오차 마이크로폰 사이의 거리를 지나는 시간을 10[kHz]로 표본화 하는 경우 34[cm] 거리에 해당하는 지연인자 수이다. 음향시간지연인자를 온도 및 유속의 변화분을 고려하여 분산이 3인 랜덤상수를 발생시켜 변화시켰다. 이는 덕트의 온도가 -55℃에서 100℃로 변할 때의 음향지연인자의 변화분에 해당된다. 또한 이득 및 음향시간지연인자의 초기치는 각각 0.1 및 5개로 하였다.

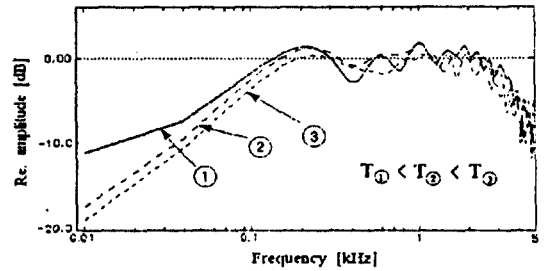
덕트의 길이 L 을 34[cm], 음파의 속도 C 를 340[m/sec], 그리고 표본시간 T 를 10⁻⁴[sec]로 할 경우의 음향시간지연인자 d 는

$$d = \frac{0.34m}{(340m/sec \times 10^{-4} sec)} = 10 \text{ delay} \quad (19)$$

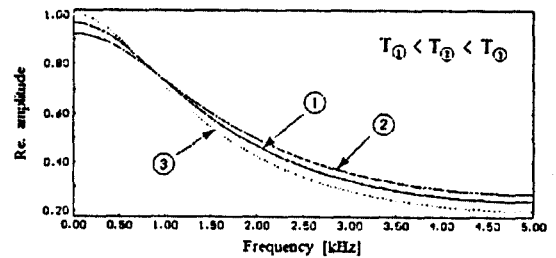
이다.

제안한 망각형 지연 LMS 알고리즘에서 300[Hz]의 정현파를 사용하였을 경우의 추정한 이득 및 음향 시간지연은 그림 5에서와 같다. 이의 이득 및 음향 시간지연은 약 30 및 25ms에서 정확히 추정함을 알 수 있다. 300[Hz]의 정현파 및 실제의 공조기 덕트 음에 대한 제안한 방식에서 오차신호의 주파수 스펙트럼은 그림 6에서와 같았다. 이는 1024개의 데이터를 제안한 방식에 의해 처리한 소음레벨이 정현파 및 공조기 덕트의 실제 소음에 대하여 각각 평균 20.0 및 12.7dB 정도로 크게 감쇠되었음을 알 수 있다.

제안한 음향시간지연 모델의 성능을 Snyder의 이상적인 filtered-X LMS 알고리즘의 것과 비교하였다. 여기에서 이상적인 filtered-X LMS 알고리즘이란 라우드스피커 및 오차음경로의 전달특성을 완벽하게 입력필터에 복제하여 오프라인으로 구동하는



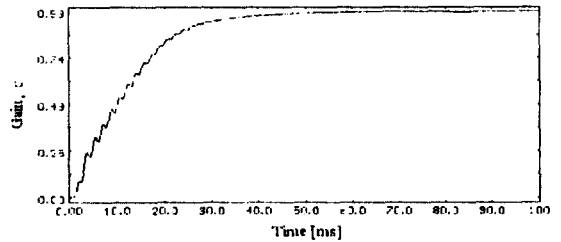
(a)



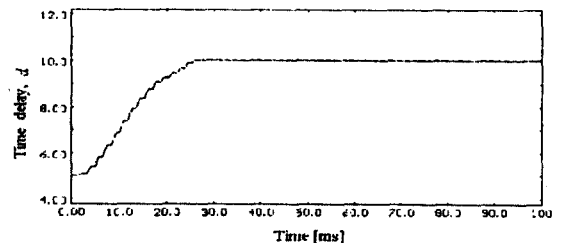
(b)

그림 4. 온도에 따른 (a) 라우드스피커 및 (b) 덕트의 주파수 특성의 변화

Fig. 4. The changes of frequency characteristics of (a) the loudspeaker and (b) the duct with various temperature.

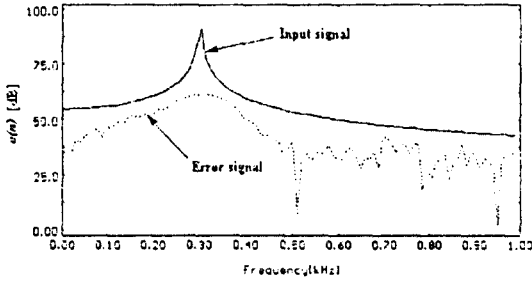


(a) Gain

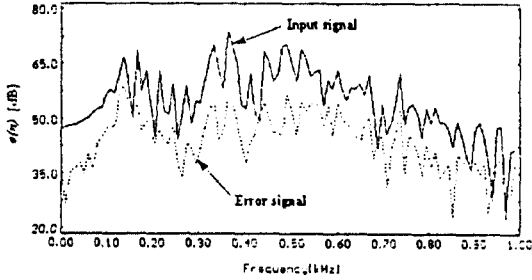


(b) Acoustic time delay

그림 5. 300[Hz]의 정현파의 (a) 이득 및 (b) 음향시간지연
Fig.5. The gain and (b) acoustic time delay of a sinusoidal of 300[Hz]



(a)



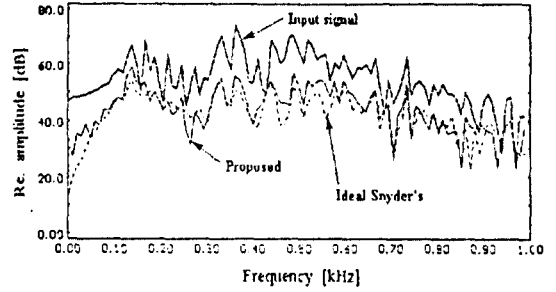
(b)

그림 6. (a) 300[Hz]의 정현파 및 (b) 실제의 공조기 덕트소음에 대한 오차신호의 주파수 스펙트럼
 Fig. 6. Frequency spectra of error signal for 9a0 a sinusoidal of 300[Hz] and (b) a practical airconditioning duct noise.

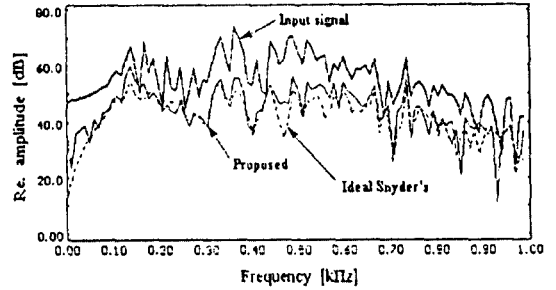
경우의 것을 뜻한다. 알고리즘의 비교를 위하여 300[Hz]의 정현파 및 실제의 공조기 덕트소음 각각에 대한 라우드스피커 및 덕트의 주파수 특성이 그림 4에서와 같이 온도에 따라 변화하는 경우에 대하여 오차신호의 주파수 스펙트럼을 비교한 결과는 그림 7에서와 같았다. 그 결과 라우드스피커 및 덕트의 주파수 특성이 모두 ①과 같을 경우에 제안한 모델이 Snyder의 이상적인 filtered-X LMS 알고리즘보다 평균 1.6dB 밖에 차이가 나지 않았다. 또한 모든 특성이 ②와 같을 경우에는 평균 0.9dB 차이가 났고, 모든 특성이 ③과 같을 경우에는 평균 1.7dB 밖에 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 그림 6에서와 같이 제안한 모델은 주파수 스펙트럼이 150[Hz]에서 650[Hz]의 영역에서 소음레벨이 많이 저감됨을 알 수 있다.

제한한 망각형 지연 LMS 알고리즘에서 최적의 필터계수 W 를 갖는 망각인자 α 값은 그림 8에 나타나 있다.

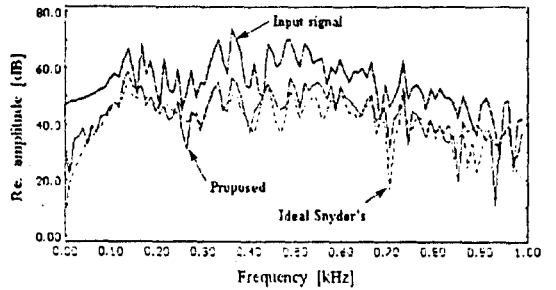
이는 1024개의 소음데이터에 대하여 32개의 적응필터



(a)



(b)



(c)

그림 7. 실제의 공조기 덕트소음에 대한 라우드스피커 및 덕트의 주파수 특성이 모두 그림 4의 (a) ①의 경우, (b) ②의 경우, (c) ③과 같은 경우 각각에 대한 제안한 음향 시간지연 알고리즘 및 이상적인 filtered-X LMS 알고리즘에서의 오차신호의 주파수 스펙트럼 비교

Fig. 7. Frequency spectra comparison of the error signals for a practical airconditioning duct noise of the proposed acoustic time delay algorithm and ideal filtered-X LMS algorithm for the frequency characteristics of loudspeaker and duct are same as (a) case of ①, (b) case of ②, (c) case of ③ of Fig. 4, respectively.

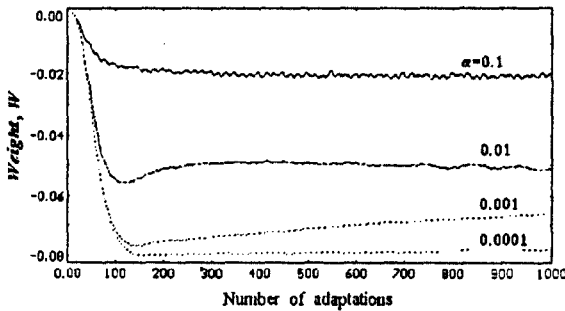


그림 8. 제안한 망각형 지연 LMS 알고리즘에 대한 망각인자의 최적값
 Fig. 8. Optimal leaky factor for proposed leaky delay LMS algorithm.

탭 계수 중 첫번째 계수에 대한 최적값을 조사한 결과의 값은 -0.08이었다. 따라서 적응필터의 탭 계수에 대한 최적값을 찾는 망각인자 값 α 는 0.0001이었음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 라우드스피커 및 오차음경로의 음향시간지연 특성을 온라인으로 추정하는 망각형 지연 LMS 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 계산량을 줄이기 위하여 추정이득과 음향시간지연을 사용하였다. 이득과 음향시간지연을 추정하기 위한 필터의 입력신호로는 입력 마이크로폰 신호와 적응필터 출력의 차신호를 이용하였다. 제안한 망각형 지연 알고리즘은 불규칙적으로 변화하는 비 정상상태의 소음신호를 제어하는데 있어서 필터계수들의 발산을 막기 위하여 사용하였다.

제안 방식의 타당성을 확인하기 위하여 정현파 음, 공조기 덕트 시스템에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 하였으며, 각 실험 결과를 기존의 Snyder의 것과 비교하였다. 오차음경로의 전달특성 중에서 음향시간지연 성분만을 고려하는 간단한 방식을 공조기의 덕트소음에 대하여 소음레벨이 각각 평균 20.0 및 12.7dB 감소되었다. 이는 Snyder의 방식에서 음향시간지연 인자를 완벽하게 인식하는 가상적인 이상형의 결과에 비하여 공조기 덕트 시스템에 대하여 불과 평균 1.4dB 정도 각각 덜 감소된 우수한 결과이다.

앞으로 본 방식을 다중경로 시스템으로 확장하여 실시간 처리가 가능한 하드웨어로 구현하고자 한다.

참고문헌

1. L.J. Eriksson, "Active sound attenuation using adaptive digital signal processing techniques," Ph.D. Thesis, Univ. of Wisconsin Madison, Aug. 1985
2. R.R. Leitch and M.O. Tokhi, "Active noise control systems," IEE Proc., vol. 134, no. 6, pp. 525-546, June 1987.
3. S.J. Elliott and P.A. Nelson, "Active noise control," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 10, no 4, pp.12-35, Oct. 1993.
4. P. Lueg, "Process of silencing sound oscillations," U.S. Patent, no. 2,043,416, June 1936.
5. B. Widrow, "Adaptive filters," in Aspects of Networks and System Theory, Part IV, edited by R.E. Kalman and N. DeClaris, New York Holt, Rinehart, and Winston, pp. 563-587, 1971.
6. M.J. Allie, C.D. Bremigan, and L.J. Eriksson, "Hardware and software considerations for active noise control," ICASSP, vol. 3, pp. 2598-2601, 1988
7. K.L. Kwon, K. Heo, S.H. Ahn, K.I. Sohng, and K.I. Lee, "Filtered-X LMS algorithm identifying loudspeaker and error path characteristics for active noise control," Proc. of ICEIC 93, pp. T27-T30, Aug. 1993.
8. 권기룡, 송규익, 이건일, "오차보상 NLMS 알고리즘을 이용한 적응능동소음제어," 한국음향학회지, vol. 12, no. 5, 1993년 12월.
9. 권기룡, 송규익, 이건일, "적응능동소음제어를 위한 새로운 오차경로 인식 방법을 통한 filtered-X LMS 알고리즘," 한국통신학회 논문지 제 19권 제 8호, 1994년 8월.
10. J.C. Burgess, "Active adaptive sound control in a duct: a computer simulation," J. of Acoustical Society of America, vol. 30, no. 3, pp. 715-726, sep. 1981.

11. L.J.Eriksson and M.C. Alline, "Use of random noise for on-line transducer modeling in an adaptive active attenuation system," J.of Acoustical Society of America, vol. 85, no.2,pp. 797-802, Feb. 1989.
12. H.Fan and R.Vemuri, "Robust adaptive algorithms for active noise and vibration control," IEEE ICASSP, vol.1,pp.1137-1140, 1990
13. S.D. Snyder and C.H.Hansen, "The influence of transducer transfer functions and acoustic time delay a on the implementation of LMS algorithm in active noise control systems," Journal of Sound and Vibration, vol.141,no.3,pp.409-424, 1990.

權奇龍(Ki Ryong Kwon) 正會員

1960년 2월 10일생
 1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
 1994년 8월 : 경북대학교 전자공학과 공학박사

1986년 3월~1988년 3월: 현대자동차 승용생산기술부 근무
 1991년 9월~현재: 창원전문대학 전자통신과 전임강사
 *주관심분야 : 적응신호처리, 음향공학 및 소음제어등

李健一(Kuhn Il Lee) 正會員

1943년 2월 16일생
 1965년 2월 : 경북대학교 물리학과 이학사
 1970년 2월 : 경북대학교 물리학과 이학석사
 1984년 8월 : 부산대학교 물리학과 이학박사

1969년 2월~현재: 경북대학교 전자공학과 교수
 1982년 12월~1983년 12월: 미국 RPI 공대 연구교수
 *주관심분야 : 비디오공학 및 오디오 공학 등

宋奎賢(Kyu Ik Sohng) 正會員

1952년 8월 15일생
 1975년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1977년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
 1990년 3월 : 일본 동북대학교 전자공학과 공학박사

1977년 3월~1982년 2월: 국방과학연구소 연구원
 1982년 4월~현재: 경북대학교 전자공학과 부교수
 *주관심분야 : 비디오 공학 및 다차신호처리등