

스피커와 마이크의 전달특성을 고려한 단일 센서 능동소음제어

김현태[†] · 박장식^{**}

요 약

능동소음제어는 원치 않는 소음에 대하여 2차 소음으로 상쇄 간섭을 발생시켜 소음을 제거하는 방법이다. 일반적으로 능동소음제어기의 성능은 2차 소음이 주 소음을 얼마나 잘 추정하는가에 따라 결정된다. 2차 소음은 스피커를 통해 발생되며 마이크를 통해 오차 신호를 수음한다. 일반적으로 스피커와 마이크의 전달특성은 이상적이지 못하기 때문에 신호를 왜곡시켜 능동소음제어기의 성능이 저하된다. 본 논문에서는 스피커와 마이크의 전달특성을 고려한 단일센서 능동소음제어기를 제안한다. 스피커와 마이크의 전달특성에 의한 2차 소음의 왜곡을 줄이기 위하여 적응 역모델링 기법으로 전달 특성을 추정하고 주 소음은 Kalman 필터를 이용하여 추정한다. 실험을 통하여 제안하는 단일센서 능동소음제어기가 효과적으로 소음을 감쇠시킴을 보인다.

A Single Sensor Active Noise Control Considering The Characteristics of The Speaker and The Microphone

Hyun-Tae Kim[†] and Jang-Sik Park^{**}

ABSTRACT

Active noise control(ANC) is an approach to noise reduction in which a secondary noise source destructively interferes with the unwanted noise is introduced. Generally, the performance of ANC is determined how well a secondary noise tracks noises. A secondary noise is generated from the cancelling speaker and a error sensor pick up error signal. The transfer function between the cancelling speaker and the error sensor is not flat and distorts secondary noises. Consequently, the performance of ANC is degraded by the transfer function. In this paper, a single sensor ANC which considers the characteristics of the speaker and the error sensor is proposed. To reduce distortion of secondary noises, the transfer function is estimated by adaptive inverse modelling and the primary noises are estimated by Kalman filter. Experimental results show that the proposed single sensor ANC effectively attenuates noises.

Key words: 적응신호처리(adaptive signal processing), 적응 역 모델링(adaptive inverse modeling), 스피커-마이크 전달특성(speaker-microphone characteristics)

1. 서 론

능동 소음 제어는 Widrow의 적응신호처리 이론에 힘입어 1980년 이후 덕트(duct)의 소음 제거에 적용 능동 소음 제어 방식이 제안되면서 본격화되었다 [1-3]. 이 경우는 두 가지 이상의 센서를 사용하는 방

식으로 소음 제거 스피커에서 입력 마이크로 제거 신호가 궤환되어 성능이 저하되는 문제가 구조적으로 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 소음 제거 스피커의 배치 방법이나 적응필터 설계에 궤환의 영향을 고려한 방법이 제안되었다[3,4]. 그러나 시스템이 더욱 복잡하여지고 성능은 크게 개선되지 못하였다. 두 가지 이상의 다중 센서를 사용할 때 발생하는 문제를 단일 센서를 사용하여 해결한 새로운 능동 소음 제어 시스템이 제안되었다[5,6]. Graupe는

접수일 : 2002년 9월 9일, 완료일 : 2003년 4월 29일

[†] 정회원, 동의대학교 멀티미디어공학과 전임강사

^{**} 정회원, 동의공업대학 영상정보과 부교수

소음원과 케환을 포함한 소음 제거 신호 전체를 식별하여 제거 신호의 케환을 따로 고려할 필요가 없는 시스템 식별(system identification) 방식을 제안하였다[5]. 이 방식은 스피커와 마이크 사이의 전달 특성이 전체 시스템 식별을 위해서는 최소 위상(minimum phase) 조건을 만족해야 한다. 이것은 실제적으로는 스피커와 마이크 사이의 간격을 매우 가까이 두어야만 한다. Oppenheim은 단일 센서 출력에서 입력 소음 신호를 추출하고 제거 스피커와 센서 사이의 전파 지연을 보상하기 위해 선형 예측기를 사용하는 방법을 제안하였다[6]. 이 방법은 구조적으로 매우 간단하고 능동 소음 제어 시스템의 주된 프로세서부가 단순히 선형예측기가 되도록 설계하였다. 그러나 일반적으로 소음 제거용 스피커와 마이크 사이의 전달특성은 단순 지연 성분 외에 입력신호의 주파수에 따른 왜곡 특성을 지닌다. 이러한 특성은 소음 제거 성능을 저하시킨다.

본 논문에서는 비교적 단순한 단일센서 구조인 Oppenheim 구조의 장점을 활용하면서 스피커와 마이크의 왜곡 특성을 줄이는 방법을 제안한다. Oppenheim 구조의 선형 예측기를 활용하기 위해 스피커와 마이크의 전달특성 전반부에 적응 역모델을 삽입함으로써 전체 전달특성을 단순 지연 성분이 되도록 설계하고 소음 제거 알고리즘 내부에서도 주 소음원 성분을 마이크 출력성분에서 추출하기 위해 피드백 이득을 단순 지연이 되도록 구성한다. 마이크와 스피커의 왜곡 특성을 적응 역 모델 기법을 통하여 제거하기 위해 Filterd-X LMS 알고리즘[7]을 적용한다. 제안하는 알고리즘의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션과 DSP 보드를 이용한 실험을 통하여 확인한다.

2. 단일 센서 능동 소음 제어 방식

최근 능동 소음 제어는 헤드폰이나 보청기를 사용하는 환경에 시도되고 있으며[8,9], 단일 센서를 이용한 능동 소음 제어 방식이 주로 사용되고 있다[8,10]. 일반적인 단일 센서 능동 소음 제어 시스템을 그림 1에 나타내었다. 소음 제거용 스피커는 두 센서를 사용하는 경우와 같이 2차 소음을 발생시킨다. 단일센서는 원래의 주 소음과 제거용 2차 소음을 함께 측정하여 제어 알고리즘에 입력한다.

Oppenheim은 Graupe가 제안한 단일 센서를 이용

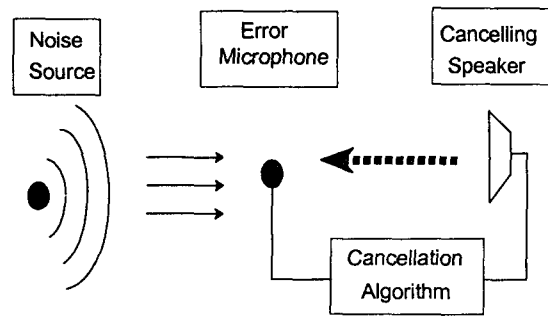


그림 1. 단일 센서 능동 소음 제어 시스템

한 능동 소음 제어 방법에서 전체 폐루프 시스템의 전달특성을 구하기 위해 스피커와 마이크 사이의 전달특성이 최소 위상을 가져야 되는 조건 때문에 실제로 스피커와 마이크 사이 간격을 매우 가까이 두어야 되는 문제점을 보완하여 새로운 구조의 능동 소음 제어 시스템을 제안하였다. 그림 2는 Oppenheim이 제안한 단일센서 능동소음제어 시스템의 기본 구조이다. $s(t)$ 는 제거해야하는 주 소음신호이며 $c(t)$ 는 주 소음, $s(t)$ 를 제거하기 위한 2차 소음신호이다. $v(t)$ 는 측정잡음이며 $m(t)$ 는 추정 오차신호이다. 그리고 $z(t)$ 와 $r(t)$ 는 각각 예측기의 입력신호와 출력신호로써 $z(t)$ 는 제어신호 $c(t)$ 가 제거된 순수한 주 소음신호를 추정된 신호이며 $r(t)$ 가 소음제거신호이다. 't'는 이산신호의 time-index이다.

단일 센서로부터 측정된 원 소음과 소음 제거 신호의 합으로부터 원 소음만을 추출하고 소음제거 스피커와 마이크 사이의 전체 특성을 단지 전파 지연만 있는 것으로 가정하여 소음 제거 알고리즘을 예측기 구조가 되도록 구성한 것이다. 구조적으로 매우 간단하고 능동소음제어 시스템의 주된 프로세서부가 단순히 선형 예측기가 되도록 설계한 것이다. 그림 2에

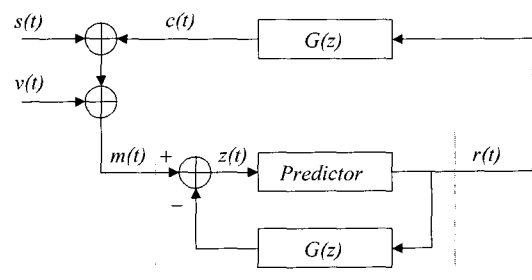


그림 2. Oppenheim이 제안한 단일센서 능동 소음 제어 시스템

서 $G(z)$ 는 소음제거신호인 스피커 입력신호 $r(t)$ 에서 오차신호에 대한 마이크 센서 출력신호인 $m(t)$ 까지의 전체 전달 특성을 나타내고 있으며 $G(z)$ 가 단순히 전파 지연 성분뿐이라면 프로세서부는 예측기가 되어야 한다. 그림 3에 나타내었다.

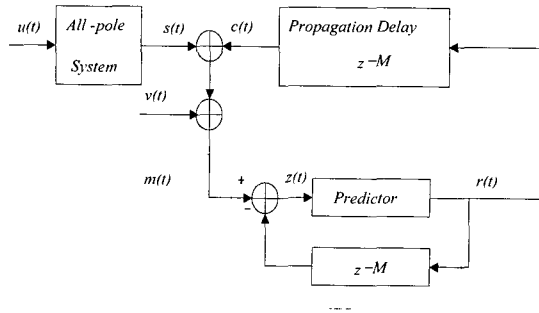


그림 3. 그림 2의 프로세서로 예측기를 쓴 경우

여기서 $G(z)=z^{-M}$ 이므로 $m(t)$ 의 잔류 에너지를 최소화하기 위해 $r(t)$ 를 원소음 추정신호 $z(t)$ 의 미래값에서 위상차가 180. 되도록 한다. 그리고 $r(t)$ 는 $z(t)$ 를 이용하여 예측한다. 이때 $r(t)$ 의 예측값은 실제 $z(t)$ 의 미래값에 대하여 최소평균자승오차(minimum mean square error : MMSE)가 되도록 구하며 조건부 확률로 표현할 수 있다. 즉,

$$r(t) = -E\{z(t+M) | z(t), z(t-1), \dots, z(1)\} \quad (1)$$

이고, 이 때의 마이크 센서 출력은,

$$m(t) = z(t) - E\{z(t) | z(t-M), z(t-M-1), \dots, z(1)\} \quad (2)$$

이다. 식(2)는 예측 오차(prediction error)이다. Oppenheim 은 이와같이 원소음에 대한 MMSE를 구하기 위해 원소음 $s(t)$ 를 입력이 백색잡음인 AR 모델의 출력으로 두고 그 계수를 적응 알고리즘을 통해 추정한다. 추정된 계수를 $z(t)$ 의 예측값을 구하는데 이용하고, 얻어진 예측값으로 제거용 스피커의 입력 $r(t)$ 를 구한다. 그림 3에서 예측기 입력 $z(t)$ 는 다음과 같다.

$$z(t) = s(t) + v(t) \quad (3)$$

여기서 $v(t)$ 는 마이크에서 첨가되는 측정 오차이고, 일반적으로 백색잡음이다. $s(t)$ 는 다음과 같이 들 수 있다.

$$s(t) = -\sum_{k=1}^p \alpha_k s(t-k) + u(t) \quad (4)$$

여기서 $u(t)$ 는 AR 모델의 입력 백색잡음이고, p 는 AR 모델 차수이다. 적응 알고리즘을 통해 시간 t 까지의 관측값으로부터 구한 $s(t+M)$ 의 추정치를,

$$\hat{s}(t+M) = E\{s(t+M) | z(1), z(2), \dots, z(t)\} \quad (5)$$

로 두고 원소음에 대해 원소음 추정치 간의 오차신호를 MMSE가 되도록 적응 알고리즘으로 Kalman 필터 알고리즘을 사용하여 원소음을 추정한다. Kalman 필터는 시스템의 모든 상태를 관측할 수 없는 경우에도 적용할 수 있으며 축차 계산에 의해 최적해가 구해진다.

3. 제안하는 단일 센서 능동소음 제거기

Oppenheim 등이 제안한 구조는 스피커와 마이크 사이의 전달특성을 단순히 전파 지연만으로 모델링하여 능동소음제어 시스템의 프로세서부가 선형예측기로 동작하기 때문에 구조적으로 매우 간단하다. 그러나 스피커와 마이크의 전달특성에 의해 소음제거 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 구조가 간단한 Oppenheim 방법의 장점을 유지하면서 스피커와 마이크의 전달특성까지 고려한 새로운 단일센서 능동소음제어 방법을 제안한다.

스피커와 마이크 사이의 전달특성 $G(z)$ 는 Oppenheim 등은 Z^{-M} 으로 두었으나, 제안하는 방법에서는 식(6)으로 둔다.

$$G(z) = G'(z) \cdot Z^{-M} \quad (6)$$

여기서 $G'(z)$ 는 스피커와 마이크의 전달특성이다. 스피커와 마이크의 전달특성으로 인한 소음제거 성능의 저하를 보상하기 위해 소음 경로 전단에 $G'(z)$ 로 인한 영향을 상쇄시킬 수 있는 적응 역모델 $W(z)$ 를 직렬로 연결한다. 적응 역모델링을 통하여 전달특성을 보상하는 것은 일반적인 전달특성이 IIR로 되어 있어 고정 역필터를 사용하는 경우 불안정해질 수 있고 모델링 대상인 플랜트(plant)의 영년변화 등의 잡음에 의하여 변화하는 특성에 적응하기 위한 것이다.

그림 4는 제안하는 소음제어 시스템을 나타낸다. $e(t)$ 는 적응 역모델링을 위한 적응 알고리즘의 추정 오차신호로써 $W(z)$ 를 갱신하는데 이용된다.

제안하는 구조에서는 내부 피드백 성분을 단순히 지연성분이 되도록 가정하면 $z(t)$ 를 식 (3)에서와 같이

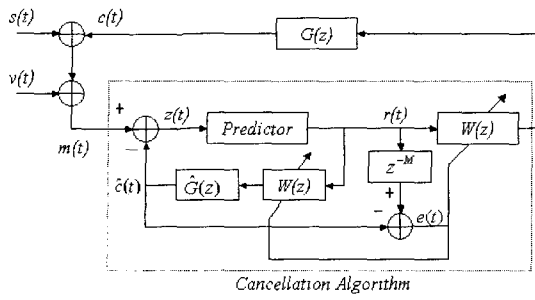


그림 4. 제한하는 단일 센서 능동소음제어 시스템

둘 수 있어 스피커-마이크 사이의 전달특성을 단순 지연성분만으로 가정한 Oppenheim 구조에서 사용한 예측기를 그대로 적용할 수 있다. 그리고 스피커와 마이크의 전달특성은 직렬로 연결된 적응 역 모델 함수를 통해 상쇄시켜 전체 능동소음제어 시스템이 스피커와 마이크의 전달특성에 의한 영향을 줄일 수 있도록 설계하였다. $G(z)$ 의 역모델을 추정하는데 있어 $G(z)$ 의 잡음(plant noise)에 대하여 영향을 받지 않도록 하기 위하여 Filtered-X 알고리즘을 이용한다[7]. 그림 5은 Filtered-X LMS 알고리즘의 구조를 나타낸 것이다. $r'(t)$ 는 $r(t)$ 과 스피커와 마이크의 전달함수 $G(z)$ 를 통과한 것으로 필터된 적응필터의 입력신호이다.

적용필터 출력 $y(t)$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$y(t) = \sum_{i=0}^{N-1} w(i)r(t-i) = \mathbf{W}^T(t)\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}^T(t)\mathbf{W}(t) \quad (7)$$

단, $\mathbf{W}(t)$ 와 $\mathbf{r}(t)$ 는

$$\mathbf{W}(t) = [w(0), w(1), \dots, w(N-1)] \quad (8)$$

와

$$\mathbf{r}(t) = [r(t), r(t-1), \dots, r(t-N+1)] \quad (9)$$

이다. 그리고 N 은 가중치 갯수를 나타낸다.

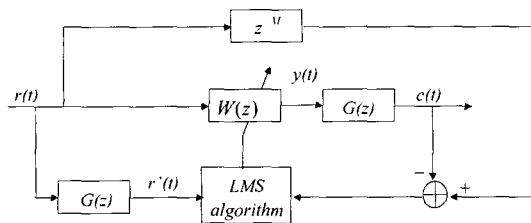


그림 5. Filtered-x LMS 알고리즘

$c(t)$ 는 다음과 같다.

$$c(t) = \sum_{j=0}^{L-1} g_{1j}y(t-j-M) + \sum_{i=1}^P g_{2i}c(t-i) \quad (10)$$

여기서 g_{1j}, g_{2i} 는 식(11)와 같은 일반적인 IIR (infinite impulse response) 필터구조를 갖는 $G(z)$ 의 부분 항들이다.

$$G(z) = \frac{G_1(z)}{1 - G_2(z)} = \frac{\sum_{j=0}^{L-1} g_{1j}Z^{-j}}{1 - \sum_{i=1}^P g_{2i}Z^{-i}} \quad (11)$$

L 과 P 는 $G_1(z), G_2(z)$ 계수의 차수이다. 식(7)을 식(10)에 대입하면 다음식과 같다.

$$c(t) = \sum_{j=0}^{L-1} g_{1j} \left[\sum_{i=0}^{N-1} w(i)r(t-i-j-M) \right] + \sum_{i=1}^P g_{2i}c(t-i) \quad (12)$$

$$e(t) = r(t-M) - c(t) \quad (13)$$

경사법을 이용하여 $W(t)$ 값을 적응시키면,

$$\begin{aligned} \hat{\nabla}(t) &= \frac{\partial e^2(t)}{\partial \mathbf{W}(t)} = 2 \cdot e(t) \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial \mathbf{W}(t)} \\ &= 2 \cdot e(t) \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{W}(t)} (r(t-M) - c(t)) \\ &= -2e(t) \cdot \mathbf{G}_1 \cdot \mathbf{r}(t-M) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 \mathbf{G}_1 은 $G_1(z)$ 의 벡터 표현으로 다음 식으로 된다.

$$\mathbf{G}_1 = [g_{10} \ g_{11} \ g_{12} \ \dots \ g_{1L-1}] \quad (15)$$

그런데 $\mathbf{G}_1 \cdot \mathbf{r}(t-M)$ 은 적응 필터 입력 $r(t)$ 가 $G(z)$ 를 거쳐 나온 출력 값 중에서 입력과 관련된 항이다. 식(15)을 이용하면 가중치 벡터는 식(16)와 같이 적응해간다.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}(t+1) &= \mathbf{W}(t) + \mu(-\hat{\nabla}(t)) \\ &= \mathbf{W}(t) + 2\mu \cdot e(t) \cdot \mathbf{G}_1 \cdot \mathbf{r}(t-M) \end{aligned} \quad (16)$$

식(16)에서 보면 가중치를 적응시키는데 직접 적응 필터의 입력이 쓰이는 것이 아니라 $G(z)$ 를 통과한 입력(filtered input)이 쓰이는 것을 알 수 있다.

4. 시뮬레이션 및 DSP 실험

시뮬레이션에 사용한 입력 신호는 주로 항공기 관련 소음을 사용하였으며, 중심 주파수가 1550Hz 이고

제 1고조파가 3100Hz인 헬리콥터 소음[12]의 스펙트럼과 200Hz 부근에서 중심 주파수를 가지고 1000Hz 이하에 대부분의 에너지가 존재하는 프로펠러 항공기 소음의 스펙트럼을 갖도록 각 소음원을 입력이 백색잡음인 AR 모델의 출력 신호로 가정하고 백색잡음으로부터 인위적으로 발생시켜 입력 신호로 사용하였으며 식(17)과 식(18)은 헬리콥터 소음과 프로펠러 항공기 소음에 해당하는 AR 모델 계수를 나타내며 AR 모델 차수는 8차이다. 샘플링 주파수는 8kHz이며, 스피커와 마이크 사이의 소음경로의 간격은 항공기 조종석이나, 자동차 운전석 주변을 사용환경으로 두어 비교적 짧은 약 4cm에서 40cm 정도이며, 이 간격 내에서는 단순 지연만 존재하는 것으로 가정하였다.

$$H(z) = \frac{1}{1 + 1.395z^{-1} + 2.150z^{-2} + 2.648z^{-3} + 3.254z^{-4} + 2.301z^{-5} + 1.821z^{-6} + 1.134z^{-7} + 0.581z^{-8}} \quad (17)$$

$$H(z) = \frac{1}{1 - 2.627z^{-1} + 2.399z^{-2} - 1.697z^{-3} + 1.942z^{-4} - 1.470z^{-5} + 1.244z^{-6} - 1.341z^{-7} + 0.553z^{-8}} \quad (18)$$

스피커-마이크 전달특성 $G'(z)$ 는 자동차 전용 스피커인 JBL사의 GTO425 제품의 주파수 스펙트럼과 Audio-Technica사의 소형 전방향성의 콘덴서 마이크인 AT803b 제품의 주파수 스펙트럼을 참조하여 유사한 스펙트럼을 갖도록 IIR 구조의 전달함수를 구하여 사용하였으며 식(19)로 두었다.

$$G'(z) = \frac{0.75 + 0.097z^{-1} - 0.602z^{-2} - 0.256z^{-3} + 0.075z^{-4} + 0.168z^{-5}}{1 - 0.203z^{-1} - 0.562z^{-2} - 0.074z^{-3} + 0.033z^{-4} + 0.14z^{-5}} \quad (19)$$

일반적으로 능동 소음 제거 성능평가를 위한 척도로 마이크 입력신호인 오차신호의 평균전력과 원소음 추정값의 평균전력의 비를 데시벨(dB)로 나타낸 Attenuation을 사용하였다.

$$\text{Attenuation (dB)} = -10 \log_{10} \left[\frac{E[m^2(t)]}{E[z^2(t)]} \right] \quad (20)$$

식(20)에서 보면 소음 제거 성능이 좋을수록 Attenuation 값은 증가하는 것을 알 수 있으며 SNR(signal to noise ratio)과 유사하다.

그리고 제안한 알고리즘에서 적응 역 모델의 차수는 30으로 두었으며, 적응상수는 0.2로 두었다. Kalman 필터의 자기상관함수 망각지수(forgetting factor)는 0.98이며, Kalman 필터의 적응상수는 0.002 이다. 마

이크에서 첨가되는 잡음의 전력은 주소음원 평균전력의 5% 이하가 되도록 하였다. Iteration은 10,000으로 두었다.

그림 6과 그림 7은 헬리콥터 소음원과 프로펠러 항공기 소음원의 스펙트럼 분포이며, 또한 각각의 입력 소음원에 대한 한 샘플 지연에 해당하는 스피커와 마이크 간격에 대한 제안하는 구조에서의 소음 제거 후의 전력 스펙트럼도 함께 나타내었다. 500Hz 이하의 주파수 대역과 각 소음원의 중심주파수 부근에서 약 20dB 이상의 소음제거 성능을 나타내고 있다.

그림 8는 헬리콥터 소음원에 대하여 스피커와 마이크 간격을 달리하며 시뮬레이션 결과를 나타낸다. (a)는 스피커와 마이크의 전달특성이 이상적으로 주파수 특성이 평탄하고(flat) 지연만 있는 것으로 모델링하여 Oppenheim 등이 제안한 능동소음제어 방법

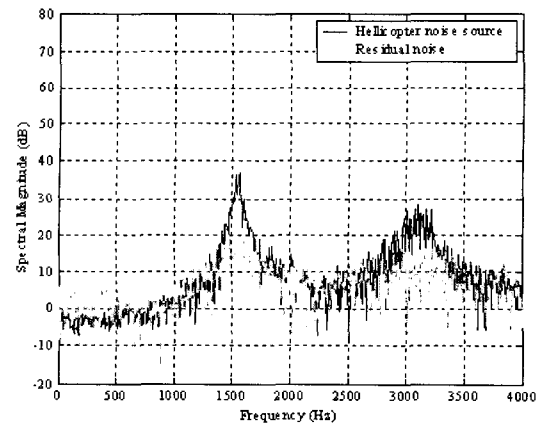


그림 6. 헬리콥터 소음원을 적용한 경우의 전력 스펙트럼

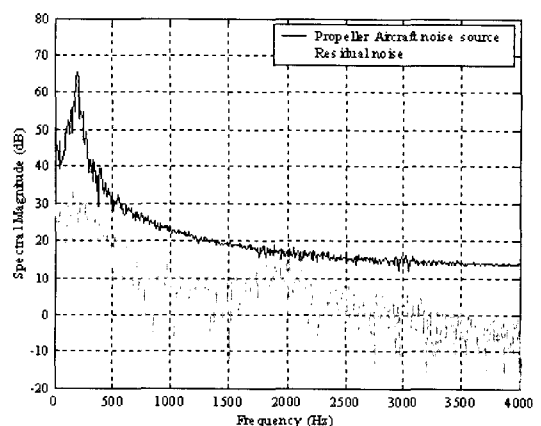


그림 7. 프로펠러 항공기 소음원을 적용한 경우의 전력 스펙트럼

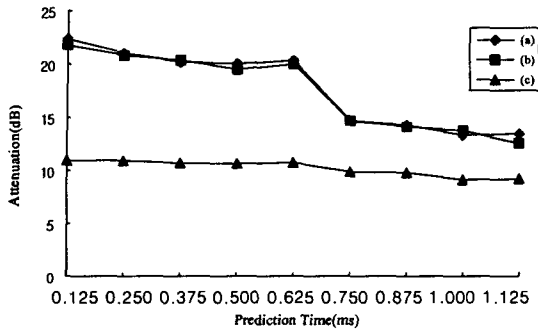


그림 8. 헬리콥터 소음원을 사용한 경우

- (a) 스피커와 마이크의 전달특성을 단순 지연만으로 모델링하고 Oppenheim의 능동소음제어 방법을 적용한 결과
- (b) 스피커와 마이크의 전달특성을 식(19)과 같이 모델링하고 제안하는 ANC 방법으로 능동소음제어를 한 결과
- (c) 스피커와 마이크의 전달특성을 식(19)과 같이 모델링하고 Oppenheim의 능동소음제어 방법을 적용한 결과

으로 소음을 제거한 결과이며 (b)와 (c)는 스피커와 마이크 사이의 전달특성을 식(19)와 같이 두고 각각 제안하는 방법과 기존의 Oppenheim 등의 제안한 방법과 비교한 결과이다. (b)와 (c)를 비교하여 보면 예측 시간(prediction time)이 0.625 ms까지는 제안하는 알고리즘이 약 10 dB 정도 스피커와 마이크의 전달특성을 고려한 Oppenheim 알고리즘의 경우에 비하여 소음이 더 감쇠되고 예측시간이 0.75 ms 이상에서는 약 5 dB 정도 개선된다. 스피커와 마이크의 전달특성을 단순 지연만으로 모델링하고 Oppenheim의 능동소음제어 방법을 적용한 결과인 (a)와 마이크와 스피커의 전달특성을 시뮬레이션에 적용하고 제안하는 방법으로 제거한 결과인 (b)의 성능과 차이가 없어 스피커와 마이크의 전달특성이 제안한 알고리즘에서 잘 보상되는 것을 알 수 있다.

그림 9은 프로펠러 항공기 소음원에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 8의 헬리콥터 소음원에 대한 결과와 유사하며, 예측시간(Prediction Time)이 0.625 ms까지는 제안하는 알고리즘이 약 8 dB 정도 스피커와 마이크의 전달특성을 고려한 Oppenheim 알고리즘의 경우에 비하여 소음이 더 감쇠되고 예측시간이 0.75 ms 이상에서는 약 4dB 정도 개선되었다. 그리고 단순히 전파지연만을 고려한 Oppenheim 알고리즘의 성능과 비교하면 예측시간 0.25 ms 내에서 약 2 dB 정도 차이가 나지만 프로펠러 항공기 소음원에 대해서도 스피커와 마이크의 전달특성이 제안한 알고리즘에서 잘 보상되는 것을 알 수 있다.

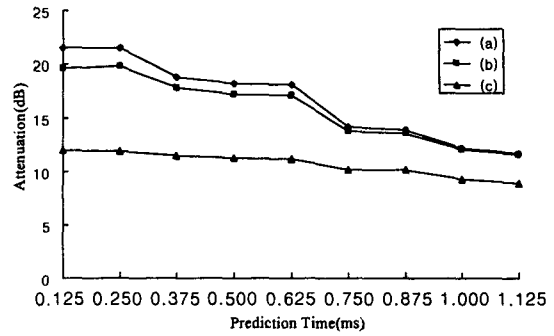


그림 9. 프로펠러 항공기 소음원을 사용한 경우

- (a) 스피커와 마이크의 전달특성을 단순 지연만으로 모델링하고 Oppenheim의 능동소음제어 방법을 적용한 결과
- (b) 스피커와 마이크의 전달특성을 식(19)과 같이 모델링하고 제안하는 ANC 방법으로 능동소음제어를 한 결과
- (c) 스피커와 마이크의 전달특성을 식(19)과 같이 모델링하고 Oppenheim의 능동소음제어 방법을 적용한 결과

제안하는 단일센서 능동소음제어의 성능을 실험으로 확인하기 위하여 각 항공기의 소음을 녹음하여 스피커로 출력하고 이를 소음 제거 스피커로 제거하는 실험을 하였다. 소음 제어 알고리즘은 TI사의 고정소수점 DSP인 TMS320C6201 DSP를 채용한 EVM 보드를 이용하여 구현하였다. 소음 제거 스피커는 JBL사의 GTO425를 사용하고 마이크는 Audio-Technica사의 무지향성 콘덴서 마이크인 AT803b를 사용하였다. 소음 제거 스피커와 마이크 사이의 거리는 4 cm로 두었다.

그림 10과 11은 각각 헬리콥터와 프로펠러 항공기의 소음에 대한 실험한 결과이다. 헬리콥터 소음을 제거하는 실험에서 약 1550 Hz 대역의 소음이 약 10 dB 정도 감쇠되었지만 3100 Hz 대역의 소음은 제거

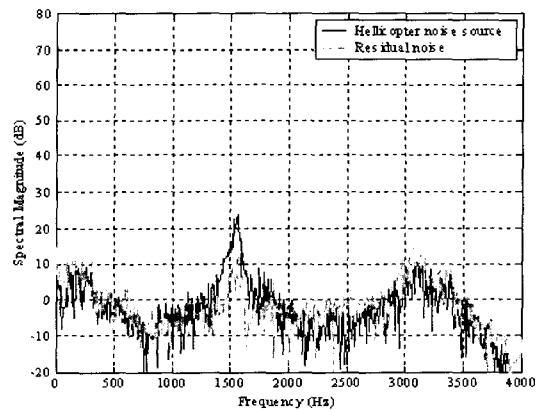


그림 10. 헬리콥터 소음 제거 실험 결과

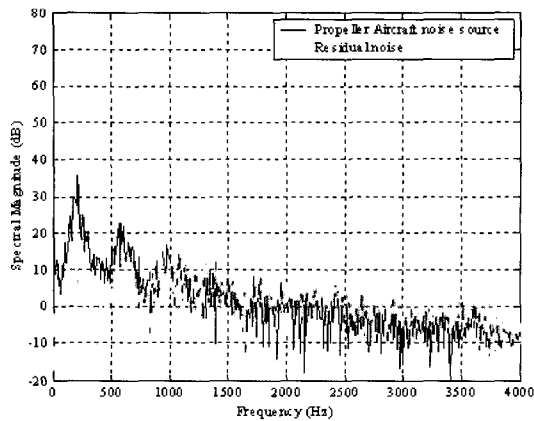


그림 11. 프로펠러 항공기 소음 제거 실험 결과

되지 않았다. 프로펠러 항공기 소음에 대해서도 저주파 소음은 약 20 dB 정도 소음 제거되지만 고주파 소음은 제거되지 않았다. 시뮬레이션 결과에 비하여 DSP 실험 결과 고주파수 대역에서 소음이 제거되지 않았다. 일반적으로 능동소음제어는 저주파수 소음을 제거하는데 활용되고 있다. 실험결과 능동소음제어기로써 제안하는 알고리즘이 고주파수 소음은 제거하지 못하지만 저주파수 소음을 제거하는데는 효과적임을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 소음 제거 스피커와 마이크의 전달 특성에 의하여 단일센서 능동소음제어기의 성능이 저하되는 것을 개선하기 위하여 스피커와 마이크의 전달특성을 고려한 능동소음제어 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 Oppenheim 알고리즘을 수정하여 스피커와 마이크의 전달특성을 Filterd-X 알고리즘으로 추정하여 Kalman 필터에서 소음을 추정하는데 있어 전달특성을 보상하도록 한다. 컴퓨터 시뮬레이션과 DSP보드를 이용한 실험을 통하여 효과적으로 소음을 제거할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

[1] R. R. Leitch, et al, "Active noise control systems", *IEE Proceedings*, vol. 134, no. 6,

pp. 525-546, June 1987.

- [2] P. Lueg, "Process of silencing sound oscillations", *US Patent* 2 043 416, 1936.
- [3] L. J. Eriksson, et al, "The Selection and Application of an IIR Adaptive Filter for Use in Active Sound Attenuation", *IEEE Trans. Acoust. Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-35, no.6, pp. 433-436, April 1987.
- [4] L. J. Eriksson, M.C.Allie, "Use of random noise for on-line transducer modeling in an adaptive active attenuation system", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 85(2), pp. 797-802, Feb., 1989.
- [5] D. Graupe, A. J. Efron, "An Output-Whitening Approach to Adaptive Active Noise Cancellation", *IEEE trans. circuits, and, systems*, vol. 38, no.11, Nov., 1991.
- [6] A. V. Oppenheim, et al, "Single-Sensor Active Noise Cancellation", *IEEE trans. speech and audio processing*, vol.2, no.2, pp. 277-280, April 1994.
- [7] B. Widrow, et al., *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1987.
- [8] J. S. Hu, et al., "Application of model-matching techniques to feedforward active noise controller design", *IEEE trans. control system technology*, vol.6, no.1, pp. 33-42, Jan. 1998.
- [9] S. H. Yu, J. S. Hu, "Controller design for active noise cancellation headphones using experimental raw data", *IEEE trans. mechatronics*, vol.6, no.4, pp. 483-490, Dec. 2001.
- [10] J. H. Lin, et al., "A design for active noise cancellation in the 2cc coupler", *ICASSP 2002*, pp. IV3059-3062, 2002.
- [11] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, Wiley, 1997.
- [12] 조동호, "음질 향상 및 중대역에서의 음성 부호화에 관한 연구", 한국과학기술원, 통신연구실, 서울, 1984.



김 현 태

1989년 2월 부산대학교 전자공학
과(학사)
1995년 2월 부산대학교 전자공학
과(석사)
2000년 2월 부산대학교 전자공학
과(박사)
2002년 3월 ~ 현재 동의대학교 멀

티미디어공학과 전임강사

관심분야 : 음성 및 음향신호처리, 적응신호처리, 입체
음향



박 장 식

1992년 2월 부산대학교 전자공학
과(학사)
1994년 2월 부산대학교 전자공학
과(석사)
1999년 2월 부산대학교 전자공학
과(박사)
1997년 3월 ~ 현재 동의공업대학

영상정보과 부교수

관심분야 : 음성 및 음향신호처리, 멀티미디어통신, 입체
음향

교 신 저 자

김 현 태 614-714 부산 진구 가야동 산24 동의대학교
멀티미디어공학과