능동 잡음제거를 위한 적응 예측방식
Adaptive Prediction Approach to Active Noise Cancellation

강 명 훈*, 부 인 형*, 강 철 호*
(Myoung-Hoon Kang*, In-Hyoung Boo*, Chul-Ho Kang*)

요 약

본 논문에서는 적응 능동 잡음제거(adaptive active noise cancellation)를 위한 새로운 방식을 기술했으며, 잡음원이 존재하는 환경에서 물리적인 잡음 제거를 하는데 목표를 두었다. 기존의 시스템 식별(system identification)방식과 달리 적응 예측기를 사용하였으며 신호를 검출하는데 쓰이는 마이크를 하나로 구성하였다. 잡음 신호 자체를 예측함으로써 적극적인 대처를 할 수 있으며 적응 알고리즘은 한번만 사용되고 적응 제어형 시스템 식별 방식에서 필요로하는 피드백 항을 제기시킴으로써 시스템을 간략화시켰다.

컴퓨터 모의 실험 결과를 통하여 제안한 방식이 주기성을 갖거나 혹은 대역 제한된 잡음에 대해서 매우 유용함을 보였다.

ABSTRACT

In this paper a new approach for the adaptive active noise canellation is described to cancel the physical noise in the vicinity of noise source.

The adaptive prediction system with one microphone is suggested for the detection of signal, which is different from the existing system identification method based on feedback control. The system can act actively by means of the prediction of noise itself.

The adaptive algorithm is used only once and the feedbck path required for system identification method is removed to make the system very simple.

The results of computer simulation indicate that the proposed approach is very effective for the periodic and band-limited signal.

I. 서 론

신호처리 분야에 있어서 신호에 혼입된 잡음의 제거는 가장 중요한 분야중의 하나이며 그에 관한 연구가 활발하게 진행중이다. 이러한 잡음제거는 수동잡음제거와 능동잡음제거로 대별할 수 있는데 능동 잡음제거는 저주파잡음 제거시 수동 잡음제기에 비해 효과가 뛰어나며 시스템 구성시 소형화할 수 있고, 경제성이 뛰어나 1970년 이후 활발히 연구되어 오고 있다.

* 광운대학교 전자통신공학과
접수일자 : 1993년 6월 28일

Paul Lueg는 중첩의 정리를 이용하여 바라지 않는 소리에 180° 위상이 다른 음파를 인공적으로 합성하므로써 능동적으로 감쇠시키는 개념을 소개 하였으며 이후 많은 연구가 진행되었다. 이러한 능동 잡음제거 시스템은 주변에 잡음원이 있는 환경에서 일하는 작업자들에게 있어서 사고의 원인이 되거나, 성능과 생산품질에 영향을 미치는 잡음을 제거하고 잡음으로 인한 상호간의 음성전달을 개선하기 위해 매우 중요하다. 이러한 능동 잡음제거를 실현하기 위하여 과거 수십년간 여러 문헌에서 여러가지 비적응 방식이 소개되었는데, 이 방식에서는 대형 스피커를 사용하여 잡음원에 대해 180° 위상변화된 잡음을 만들어

잡음을 제거했다[1]. 그 이후 적응 능동 잡음제거 방식이 Eriksson등에 의해 소개되었다. 이것은 두 LMS 알고리듬을 이용하여 최소의 시스템 출력을 유도하기 위해 적응 역 모델을 필요로 하는 입력, 출력 식별을 채용했다[2]. 또한, Graupe와 Efron은 위 방식을 개선하여 음원과 음향 피드백이 함께 식별되는 단일 마이크 시스템을 제안하였다. 그러나 식별 시스템에서의 피드백항이 첨가되고 식별과 제거 조절이 따로 분리되어 있는 복잡성을 가지고 있었다[3].

이외에도, A.V.Oppenheim등은 단일 마이크를 이용하는 능동잡음제거를 소개했는데 EM 알고리즘을 이용하여, 잡음원의 시스템함수를 추정하여 그 역 Phase를 갖는 파형을 발생시키는 방법으로, 추정을 위해 Kalmam smoother를 이용했는데, 그 추정과정과 제거파형발생이 분리되어 있어 Graupe 논문과 같은 시스템 식별 방식 즉, 파라메타 추정 방식이다[4].

본 논문에서는 기본적인 능동잡음제거 개념을 위와 같은 시스템 식별 방식에 두지 않고, 잡음 자체를 제거 가능잡음과 잔류잡음으로 구별하고 적응예측 개념을 도입하여 침묵을 요하는 장소에서 필요로 하는 잡음과 크기는 같고 위상이 180° 다른 파형을 예측하는 방식을 소개한다. 즉, 시스템 파라메타추정이나 식별이 필요없고 이로인한 잡음제거파형 생성을 위한 별도의 조작도 필요없이, 적응필터 자체의 출력만으로 잡음을 제거하는 방식이다. 시스템은 단일 마이크를 이용하며 LMS알고리듬[5-7]을 통하여 제거해야 할 잡음을 예측함으로써 위상 천이된 신호를 만들어 잡음을 제거하는 방식이다. 기존의 시스템 식별(system identification)방식에 비하여 본 논문에서 제안한 방식은 복잡한 조정 루프가 필요 없음을 알 수 있다.

제안한 시스템 알고리즘의 타당성을 수치해석을 통해 입증하였으며 기존의 알고리즘과 비교하여 제안한 알고리듬은 잡음원(noise source)의 형태나 특성에 상관없이 출력되는 잡음 신호만을 가지고 제거해야 할 신호를 예측하였다.

Ⅱ. 적응 능동 잡음 제거

1. 능동 잡음제거 개념과 구조

공장이나 기계의 소음기등 즉 엔진이나 송풍기, 압축기, 팬 그리고 그와 관련된 장치들에 사용되는 소음장치들은 저역통과 음향필터들이다. 비록 이들 수동소자들을 사용하므로써 뛰어난 성능을 발휘한다할지라도 그들은 비교적 크고 값이 비싸며 낮은 주파수에 대해 비효과적이다. 이들 문제점들을 극복하기 위한 노력으로 능동 잡음 감쇠가 관심있는 연구 대상으로 받아들여졌다.

능동잡음제거는 각각의 소리 영역에 관해 음향파의 물리적 합성으로 강해짐과 약해짐의 원인이 되는 증폭과 상쇄의 결과를 이용하였다. 이러한 음파의 상쇄적인 간섭이 잡음을 제거할 수 있고, 이는 중첩의 원리로 이해할 수 있다[1].

그림1에서는 관속에서의 소리문제를 보이고 있다. 관 T에서는 점 A를 통하여 관을 따라 잡음이 확산되어 간다. 마이크 M에서는 소리가 검출되고 이를 전기적 신호로 변환하며 전기적 신호는 증폭기 V를 거쳐 확성기 L로 간다. 관속에서 정현파를 보였으며 이파의 역 위상은 시간 delay가 있는 전송시스템에 의해 만들어진다. 확성기는 그 위치에서 정현파의 “mirror image”(즉 180° 위상반전)를 주사하여 결과적으로 그 파를 제거하게 된다. 양쪽은 동시에 일어나며 만일 확성기가 지나는 잡음과 완전히 동기화되면 잡음과 확성기에 기인하는 입력, 즉 에워싼 공간 압력은 평균 zero가 된다.

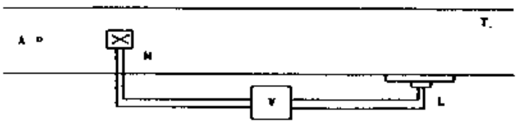


그림. 1. 관속에서의 소리문제
Fig 1. The problem of sound in a duct.

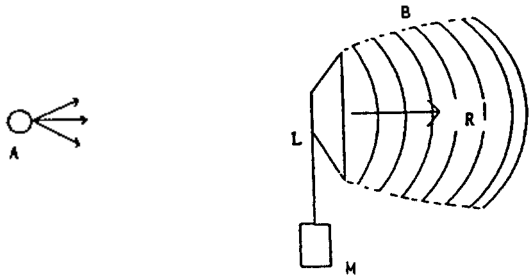


그림 2. 공간상에서 잡음 감쇠의 경우
Fig 2. The case of noise reduction in the open space.

그림2에서는 공간상에서 잡음제거의 경우이다. 여기서 A는 point noise source, 마이크 M은 잡음검출, 그리고 제거되는 신호는 확성기 L에서 만들어지며

방향은 R, 침묵영역은 B이다. 다음과 같은 기본적인 물리적 현상을 정확히 이해하면, 능동제어는 가능할 뿐만 아니라 흥미를 갖게 된다. 공기중에서 소리의 속도는 전기적 임펄스의 속도보다 훨씬 느리다. 즉 비교적 느린 음파가 그것이 감쇠되어지는 장소로 이동하는 시간은 전기회로 안에서 잡음의 형태, 주파수 범위, 시스템의 물리적 만족도에 의존하는 제어요소들의 동작조작과 신호처리를 위한 충분한 시간이 될 수 있기에 능동잡음제거가 가능하다.

그림3과 같이 각각 다른 주파수를 가진 세개의 정현파가 시간 delay가 주어지면 주파수 b는 제거되어 짐을 알 수 있다. a는 단지 π/2만큼의 위상변화이고 C는 위상 이동이 2π이기 때문에 중복되어진 것이다. 그러나 이 이론이 나왔던 때에는 능동잡음제거의 요구를 충족시켜줄 충분한 기술적 진보가 되어 있지 못하였다. 그러나 1960년대 중반부터 시작된 기술의 진전은 잡음에 대한 능동제어를 시도하였으며 몇가지 기술적인 영역에서 중요한 진보를 보게 되었다. 즉, 제어시스템의 기술및 적응시스템들의 기술개발이 진행되었으며 음향 시스템들의 물리적인 이해가 정립되었다. 한편 최근에 이르러서는 반도체 기술및 컴퓨터 기술이 능동 잡음 제거 시스템들의 실제적 실현을 위하여 결정적 역할을 하고있다.

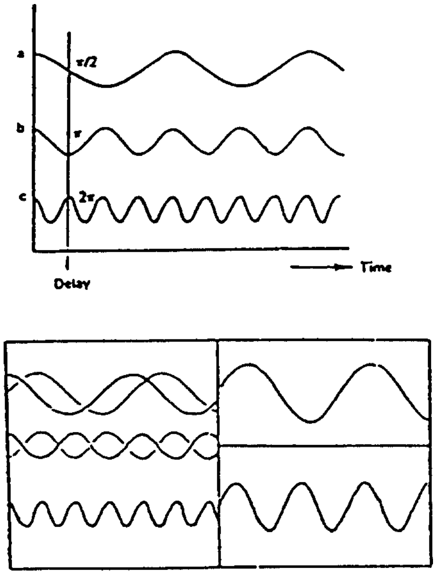


그림 3. 중첩의 효과
Fig 3. The effect of superposition.

2. 기존의 적응 능동 잡음제거

능동 감쇠에서 가장 먼저 해결해야 할 문제는 바라지 않는 잡음을 제거할 음향파를 발생시키는 것이다. 기존의 방법은 잡음원을 미지의 시스템으로 간주하여, 적응 필터로 하여금 미지의 블랙 박스(Black box)로 가정된 시스템의 물리적 특성과 동일한 기능을 상세하는 시스템을 구성하는 것이다[7]. 여기서 적응 필터의 목적은 미지의 잡음원이 시간에 따라 변할 경우 적응 필터의 출력이 우리가 알지 못하는 시스템의 출력과 같아지도록 하는데 있다.

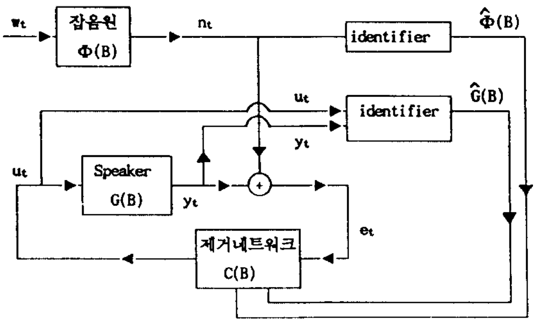


그림 4. 적응 능동 잡음 제거 시스템의 구성도
Fig 4. Block diagram of adaptive ANC system.

기존의 방법은 그림4와 같은 능동 잡음 제거(ANC : active noise cancellation)시스템에서 입력으로 백색잡음을 사용하였으며 원하는 침묵 공간에서는 백색잡음만이 존재하게 만든 방식이다[3]. 따라서 시스템 식별에서 적응알고리즘을 사용하여 잡음원을 추정하고 추정한 잡음원을 antio-nosic 화하기 위하여 제어 시스템을 필요로 하였다. 또한 제거출력 스피커와 마이크들의 적절한 배치를 요구하며 적절히 수행되면 단지 백색잡음은 원하는 침묵공간에서 남게되는 것이다. 이러한 제거 시스템 구성은 적응제어 원리에 기반을 두고 있다. 그림4는 2개의 마이크를 사용하는 시스템 식별을 이용한 제어시스템이다. 제거되는 잡음 n_t이 선형 모델을 만족하면

$$n_t = \Phi(B)\, W_t \qquad (1)$$

여기서, B는 단위 지연 오퍼레이터

$\Phi(B)$는 noise source

W_t는 inaccessible white noise

제거신호 y_t는 입출력 관계에 의해

$$y_t = C(B)\,G(B)\,e_t \tag{2}$$

$$e_t = y_t + n_t \tag{3}$$

(2)식을 (3)식에 대입하면

$$e_t = C(B)\,G(B)\,e_t + n_t \tag{4}$$

$$\text{혹은 } [1 - C(B)\,G(B)]\,e_t = n_t \tag{5}$$

여기서 C(B)는 제거 network, G(B)는 amp, 스피커, 마이크 등에 대한 시스템을 표현한다. 식(5)의 결과는

$$e_t = \frac{n_t}{1 - C(B)\,G(B)} \tag{6}$$

$n_t = \Phi(B)W_t$ 이므로

$$e_t = \frac{\Phi(B)W_t}{1 - C(B)\,G(B)} \tag{7}$$

(7)식에서 e_t가 W_t가 되려면, 즉

$$e_t \rightarrow \pm\, W_t \text{ 위해} \tag{8}$$

(7)식에서

$$\frac{\Phi(B)}{1 - C(B)\,G(B)} = \pm 1 \text{ 이어야 한다.} \tag{9}$$

즉 C(B)는

$$C(B) = \frac{1 \pm \Phi(B)}{G(B)} \tag{10}$$

이러한 조건을 만족하게 되면 e_t는 잔여백색잡음이 남게된다[3]. 위와 같이 시스템 C(B)를 만족시키기 위하여는 우선 잡음원 Φ(B)를 식별하여야 하며 나머지 시스템을 나타내는 G(B)도 식별되어야 한다. 결과적으로 원하는 잔여백색잡음을 얻기 위하여 잡음원은 이상적으로 point source이어야 하고 실제로도 point source에 거의 가까워야 한다. 또한, A.V. Oppenheim등은 EM(Estimate Maximize)알고리듬을 이용하여 그림5의 일반적 단일 마이크 구조를 그림6과 같이 EM 알고리듬에 맞게 잡음제거 스피커의 출력부터 마이크까지 전달함수가 변하지 않는다고 가정하고 알지 못하는 파라메타 즉, H(Z)의 pole계수와 잡음원의 White Noise(σ_s) 그리고, 마이크 측정 오차신호(σ_E)를 반복수행으로 찾는 파라메타 추정방식을 제안했다. 이러한 방식은 본 논문에서 제안한 알고리듬에 비해 파라메타 추정과 이 추정 파라메타를 이용 제거 파형을 발생시키는 과정의 이중 노력과 복잡성이 있으며, 그림5에서 보듯이 잡음원과 잡음제거 스피커의 위치가 마주보는 상태하에서는 잡음원과 마이크, 마이크와 스피커 사이에서 전달함수의 상이가 생길 수 있고 이로인한 잡음제거 효과의 감소도 생길 수 있다.

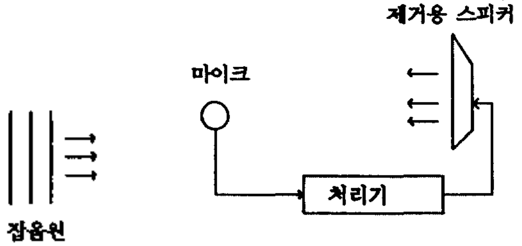


그림 5. 일반적인 단일 마이크 ANC 시스템
Fig 5. Generic 1-microphone ANC system.

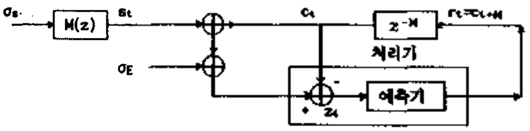


그림 6. 이상적인 단일 마이크 ANC 모델
Fig 6. Idealized 1-microphone ANC model.

Ⅲ. 제안한 적응 능동 잡음제거 방식

지금까지의 적응 능동 잡음제거에서는 시스템 식별방법을 이용하여 왔으나 본 논문에서는 기본적인 예측기 개념을 적용하였다. 즉 잡음원 시스템을 식별하지 않고, 잡음신호를 주기성이 강한 잡음과 잔류잡음의 합으로 다음식과 같이 생각한다.

$$n_t = P_t + R_t \tag{11}$$

여기서 P_t는 주기성이 강한 잡음, R_t은 잔류잡음

이때 제거 대상잡음은 P로서 이 신호를 적응필터를 통하여 예측하므로써 위상천이된 신호를 만들어 제거하게 되는 것이다. 잔류잡음은 주기성이 없는 백색 잡음을 의미하며 이러한 잡음은 지금까지의 적응방식으로는 예측 불가능한 잡음을 말한다.

1. 제안한 구조 Ⅰ (2 MIC 구조)

다음 그림7의 구조에서 보면 잡음원은 주기성이 강한 신호와 잔류잡음으로 되어 왔다. 이러한 잡음원의 신호를 분석하기 위해 마이크가 필요하며 침묵 공간을 위해 마이크가 한개 더 필요하나. 여기서 delay는 잡음원에서 제거되어질 잡음을 예측하기 위하여 필요하며 마이크와 스피커 사이 거리를 음파가 진행할 때 걸리는 시간보다 길게한다. delay된 신호는 적응필터의 입력이 된다. 잡음원과 스피커 출력에 대한 오차

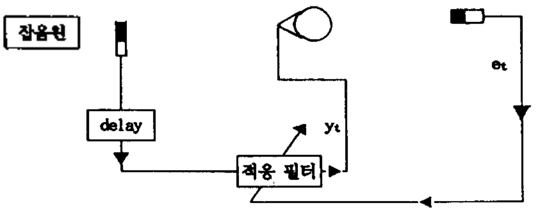


그림 7. 2-MIC 적응 능동 잡음 제거 시스템
Fig 7. 2-microphone adaptive ANC system.

를 공간상에서 떨어진 마이크를 통해 적응필터의 계수조정 알고리듬으로 보내고 여기서 다시 필터 출력이 스피커를 통하여 나오게 된다. 스피커 출력은 제거 대상 잡음인 P와 유사한 위상 천이된 신호이며 공간상에 떨어진 마이크에서는 잔류잡음만이 남도록 시스템이 조절된다. 기존의 적응잡음제거에 비하여 적응 알고리듬의 가장 간단한 형태인 예측기 구조를 사용하였으며 신호자체를 예측하므로써 잡음원의 시스템 파라메타를 추정하는 방식에서의 파라메타 추정과 이 추정된 파라메타를 이용하여 역잡음파형을 만드는 과정이 생략된다. 제안된 구조에서는 기존의 시스템과 마찬가지로 2개의 마이크를 사용하였다. 그러나 이것은 만일 잡음원의 접근할 수 없는 장소이거나 마이크로부터 잡음원의 신호를 감지할 수 없는 경우에 제안한 시스템 구조는 효용성이 없다. 그러므로 이러한 조건도 만족할 수 있는 단일 마이크 시스템을 제안하였다.

2. 제안한 구조 Ⅱ (1 MIC 구조)

그림 8에서 마이크를 사용하는 적응 능동 잡음 시스템에 대한 구성도를 나타냈다. 이러한 구성도에 대한 시스템을 그림 9에 나타냈다. 여기서 보는 바와 같이 한개의 마이크를 통해 잡음원에서의 신호와 스피커의 출력신호가 동시에 감지되고있다. 이 마이크에는 잡음원에서의 잡음과 제거스피커에서 나오는 출력 신호가 합성되므로 스피커 출력을 y라고 하면

$$n_t = P_t + R_t$$
$$e_t = n_t + y_t = P_t + R_t + y_t \qquad (12)$$

여기서 오차 e_t는 적응 필터의 필터계수 조절을 위한 알고리듬에 입력되고 두개의 마이크를 사용한 잡음원의 delay와 같은 입력을 도입하기 위하여 필터출력과 에러와의 차 즉 $e_t - y_t$가 필터의 입력으로 사용된다. 이때 필터를 통하여 스피커 출력으로 나온 신호는 잡음원에 대한 mirror image를 발생하게 된다. 결국 잡음원에서 제거되는 신호와 스피커 출력 신호 사이에는 정확한 물리적 합성이 일어남으로써 잡음과 스피커로부터 떨어진 원하는 공간에서 잡음을 감쇠시키게 되는 것이다. 이때 제거 신호를 발생시키는 스피커출력과 잡음원에서 나오는 제거대상 잡음이 마이크에까지 이르는 시간지연만큼 예측기 부분에서의 시간지연을 통해 동기를 맞춰 주어야 한다. 즉, 실제 능동 잡음 제거를 요하는 현상에서 스피커와 마이크사이의 거리는 고정되어 있으므로 이 거리를 음파가 진행하는 시간 만큼의 delay를 잡을 수 있다. 이와 같은 방식의 장점은 잡음원의 잡음이 침묵을 요하는 공간으로 진행해 갈때 통과하는 매질을 역시 잡음제거 신호도 같이 진행하므로써 매질 전달함수의 변화에 관계없이 신호 및 잡음의 대한 시간 지연은 같다. 이때, 잡음원에서 스피커까지의 잡음과 진행 시간을 D, 스피커에서 침묵공간 마이크까지 잡음제거파 진행 시간을 delay라 하고 이 값은 알고 있다고 가정한다. 또한, 스피커의 물리적, 전기적 전달함수 G(B)를 편이상 1로 잡는다.

그림9에서 전달함수 H(z)는 time-varying FIR필터이다. 여기서 스피커 위치를 통과하고 있는 음파, n_t, 를 기준으로 잡음원에서 나오는 잡음을 n_{t+D}로 D 시간 후 스피커에 도달한다고 볼 수 있고, 마이크에서는 $e_t = P_{t-delay} + R_{t-delay} + y_{t-delay}$로 delay만큼 이전에 스피커를 통과한 신호에 대한 오차신호를 생성한다. 즉, 아래 첨자가 잡음수록 시간적으로 이전

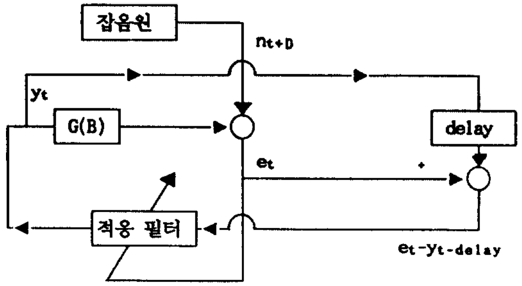


그림 8. 단일 마이크 ANC 시스템의 구성도
Fig 8. Block diagram for single microphone ANC system.

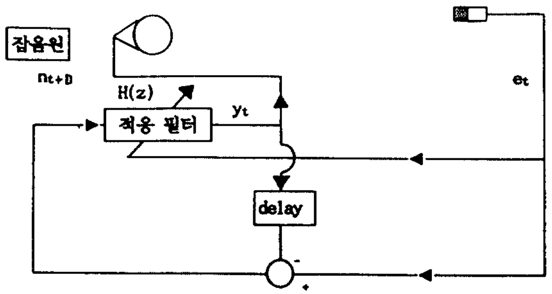


그림 9. 단일 MIC 적응 능동 잡음 제거 시스템
Fig 9. 1-microphone adaptive ANC system.

신호로 본다. 그러므로 적응 필터의 입력은 $e_t - y_{t-delay}$가 되어 결과적으로 $n_{t-delay}$가 된다. 이때, 스피커와 마이크사이를 음파가 진행하는 시간과 delay가 차이 있을경우 그 차이에 비례하여 잡음제거에 열화를 가져온다. 또한 선형예측 알고리듬으로는 steepest descent 방법에 기초를 둔 LMS알고리듬을 사용하였다[5]. 선형예측은 현재 진행중인 잡음 n_t를 예측하기위해 과거 샘플들의 선형결합, 즉

$y_t = \sum_{k=0}^{M} a_t(k) n_{t-delay}$ 형태의 FIR필터를 이용한다.

여기서 $a_t(k)$는 과거신호 샘플값 $n_{n-k-delay}$에 대한 가중치 계수이다. 침묵 공간에서의 오차는 다음과 같다.

$$e_t = n_{t-delay} + y_{t-delay}$$
$$= n_{t-delay} + \sum_{k=0}^{M} a_{t-delay}(k) n_{t-k-2delay} \quad (13)$$

Steepest descent 방법에서 시간 (k+1)에서의 weight 백터는 아래식과 같다. 여기서 $\nabla(k)$는 경도를 나타낸다.

$$a_{t+1}(k) = a_t(k) + \mu(-\nabla(t)) \quad (14)$$

순간적 자승오차에 기본을 둔 경도추정으로 적응과정의 각 반복 실행마다 추정기울기 백터를 구하는 추정 경도는

$$\hat{\nabla}_t = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_t^2}{\partial a_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_t^2}{\partial a_M} \end{bmatrix} = 2e_t \begin{bmatrix} \frac{\partial e_t}{\partial e_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_t}{\partial a_M} \end{bmatrix}$$
$$= 2e_t n_{t-k-2delay} \quad (15)$$

즉, 추정기울기 백터는 $2e_t n_{t-k-2delay}$이므로 $a_{t+1}(k) = a_t(k) - 2\mu e_t n_{t-k-2delay}$가된다. $k = 0, 1, 2, \ldots, M$ (16)

여기서 μ는 수렴속도, 정확도, 안정도를 결정하는 계수이다. 본 논문에서 제안한 선형예측 기법을 이용한 능동잡음제거에서는 제거할 수 있는 잡음과 제거가 불가능한 잡음으로 분류하여 시스템에서 제거할 수 있는 잡음만을 추정하여 그에 대한 mirror image를 발생하는 것이다. 결국 잡음은 마이크가 있는 공간에서 감쇠되어지는 것이다.

이처럼 기존의 시스템 식별을 이용한 잡음제거 방식에 비하여 적응예측 기법은 필터출력을 발생시키기 위한 LMS 알고리듬을 한번만 사용하였고 시스템 식별에서의 음향 피드백과 시스템 식별 알고리듬을 줄임으로써 구성면에 있어서 간략화되었다. 또한 하나의 마이크를 사용하였음에도 잡음제거면에서 뛰어난 성능을 보였다.

Ⅳ. 컴퓨터 모의 실험 및 결과

제안한 잡음제거에 대한 실험을 다음과 같이 실행하였다. 우선, 잡음원으로서는 제거될 잡음과 제거되지 않는 잔여 잡음의 크기를 조절하면서 설정하였다. 여기서 잡음의 구성을 제거될 잡음으로는 주기성이 강한 잡음 신호로서 수개의 정현파를 합하여 수행하였고 잔여 잡음으로서는 균일 백색 잡음(uniform white noise)을 사용하였다. 잡음원은 주기성이 강한 신호로서만 구성되어지는 것과 주기성 잡음과 잔류잡음이 합하여진 것에 대하여 실험하였고, 잡음원의 주기성 잡음 신호와 잔류잡음의 비를 P/R비로 표현

하였다. 또한 대역 제한된 잡음에 대해서도 수행하였다. 여기서는 원신호 즉 잡음의 형태와, 잡음이 소거되어진 후의 결과를 보였으며 이 두 신호의 주파수 스펙트럼을 비교하였다. 시스템 알고리듬에서 사용된 가중치 차수는 30이다. 또한 주파수는 연속 신호로부터 데이타 샘플들을 얻는데 사용되어진 샘플링 주파수로 정규화한 값, 즉 샘플당 주기의 갯수로써 표시하였다. 또한, 크기는 잡음과 잡음제거후의 신호의 상대적 크기로 나타내었다.

1. 주기성 신호의 합성신호

그림10에서 보듯이 주기가 긴 신호에 짧은 주기를 가진 신호를 합성하여 잡음 신호로 보았다. 이 신호를 제거 알고리즘에 사용하여 잡음을 제거한 것이 그림11이다. 여기에서 보면 원 신호가 거의 0으로 감쇠되어지는 것을 볼 수 있다. 원잡음 신호와 제거된 후의 신호에 대한 FFT(fast Fourier transform)를 취하여 주파수 스펙트럼을 그림12와 13에 나타내었다. 여기서 주기적인 신호가 현저하게 제거된 것을 알 수 있다.

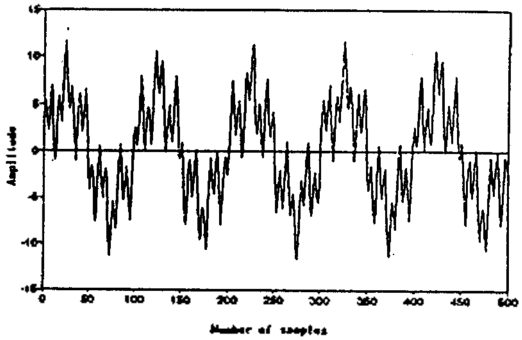


그림 10. 주기적 신호의 합성파형

Fig 10. Waveform of composite periodic signal.

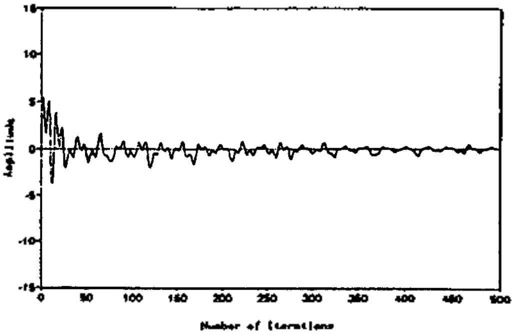


그림 11. 잔류 신호의 파형

Fig 11. Waveform of residual signal.

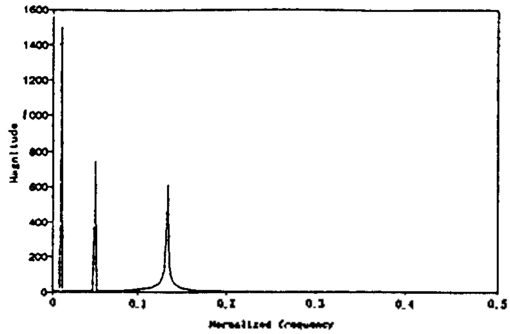


그림 12. 주기적인 잡음 신호의 주파수 스펙트럼

Fig 12. Frequency spectrum of periodic noise signal

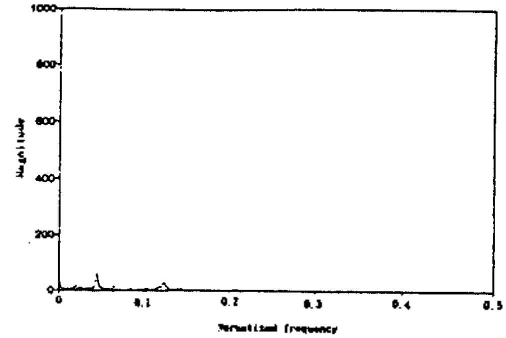


그림 13. 잔류 잡음의 주파수 스펙트럼

Fig 13. Frequency spectrum of residual noise.

2. 과도적인 잡음 신호

그림14에서 보인 신호는 일정한 주기를 갖는 신호가 점차적으로 진폭이 증가하는 경우이다. 이때 잡음을 제거한 것이 그림15이다. 주기성 신호와 마찬가지로 진폭이 점차 증가하는 과도 신호에 대하여도 잡음제거 성능이 우수했다. 여기서 알 수 있듯이 진폭이 증가하여 일정해진 후 다시 감소하는 신호에 대해서도 잡음제거가 가능하다는 것을 보여준다. 주파수 스펙트럼은 600번째 샘플 이후에 대하여 FFT를 행한 것이다.(그림 16,17)

3. 주기성 잡음 신호와 백색 잡음의 합성신호

이 경우는 서로 다른 진폭과 주기를 갖는 신호와 균일 백색 잡음을 합성한 신호에 대하여 제거 성능을 살펴 보았다. 그림18에서 주기적 잡음 신호와 백색잡음의 P/R비가 8dB인 파형을 보았다. 이 파형을 제거 알고리즘에서 수행한 결과 그림19에서 보듯이 주기성 잡음 신호는 거의 제거가 되고 백색 잡음만이 남

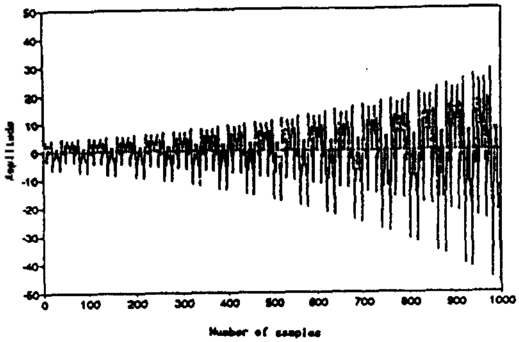


그림 14. 과도 잡음 신호의 파형
Fig 14. Waveform of transient noise signal.

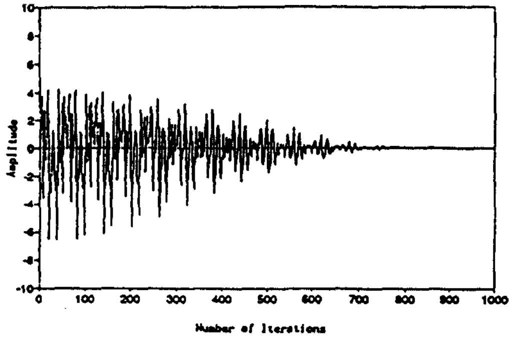


그림 15. 잔류 잡음의 파형
Fig 15. Waveform of residual noise signal.

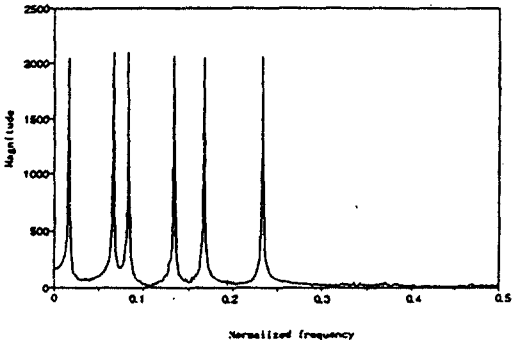


그림 16. 과도 잡음 신호의 주파수 스펙트럼
Fig 16. Frequency spectrum of transient noise signal.

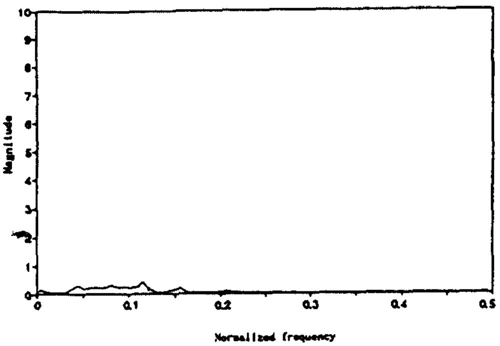


그림 17. 잔류 잡음의 주파수 스펙트럼
Fig 17. Frequency spectrum of residual noise.

아 있다. 그림20은 주기성 잡음 신호와 백색 잡음을 합한 신호의 주파수 스펙트럼이며 그림21은 잡음제거된 후의 주파수 스펙트럼이다.

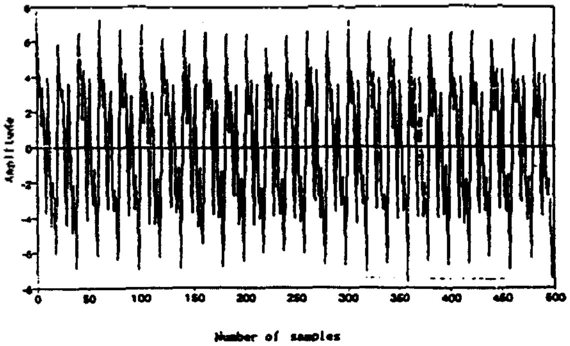


그림 18. 주기적 잡음 신호와 백색 잡음의 비가 8dB인 파형
Fig 18. Waveform of periodic noise signal with white noise(P/R ≈ 8dB)

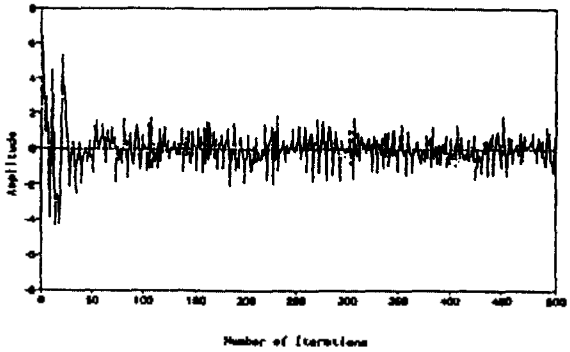


그림 19. 잔류 잡음의 파형
Fig 19. Waveform of residual noise

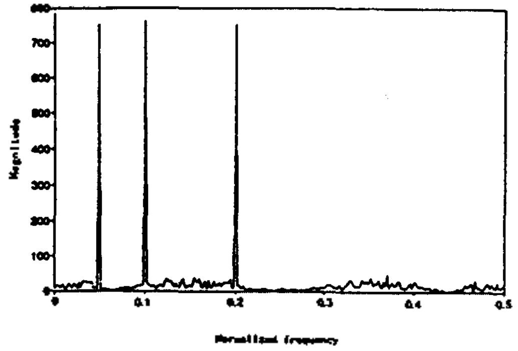


그림 20. 주기적 잡음신호와 백색 잡음의 비가 8dB인 파형의 주파수 스펙트럼

Fig 20. Frequency spectrum of periodic noise signal with white noise.

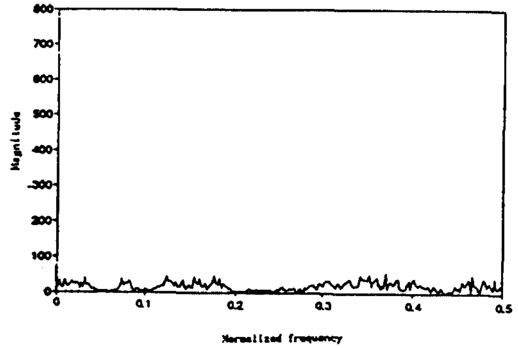


그림 21. 잔류 잡음의 주파수 스펙트럼

Fig 21. Frequency spectrum of residual noise.

4. 대역 제한된 잡음 신호인 경우

그림22과 23는 대역 제한된 잡음 신호와 잔류 신호의 파형을 나타낸다. 이러한 대역 제한된 신호에서의 시스템의 성능은 주파수 영역에서 그림 24,25과 같다. 이들 결과에서 볼 수 있듯이 제한된 잡음 영역에서 잡음을 완전하게 제거하지는 못하였지만 크게 감소시켰음을 알 수 있다. 이때 수렴 상수는 0.05이다.

V. 결 론

본 논문에서는 잡음제거를 위해서 적응예측기를 사용한 능동 잡음제거를 제안하였다. 제안된 시스템은 단일 마이크를 사용함으로써 시스템 구조를 간략화하였고 또한 시스템의 성능을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 입증한 결과 우수한 성능을 확인하였다. 모의

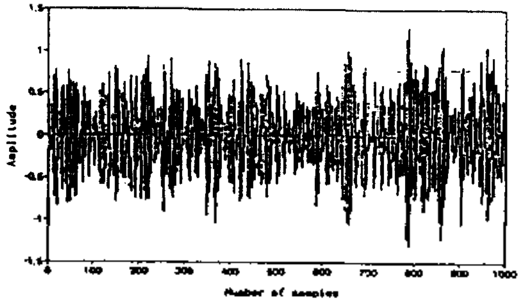


그림 22. 대역제한된 잡음신호의 파형

Fig 22. Waveform of band-limited noise signal.

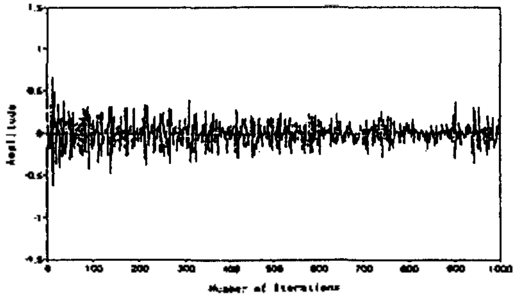


그림 23. 잔류 잡음의 파형

Fig 23. Frequency spectrum of residual noise.

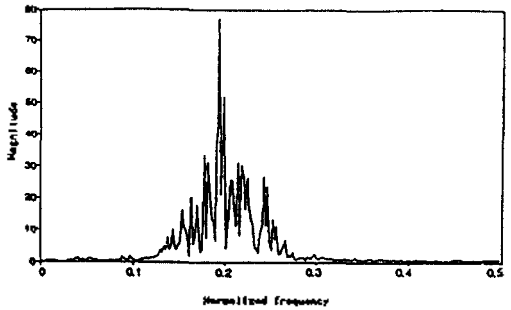


그림 24. 대역 제한된 잡음 신호의 주파수 스펙트럼

Fig 24. Frequency spectrum of band-limited noise signal.

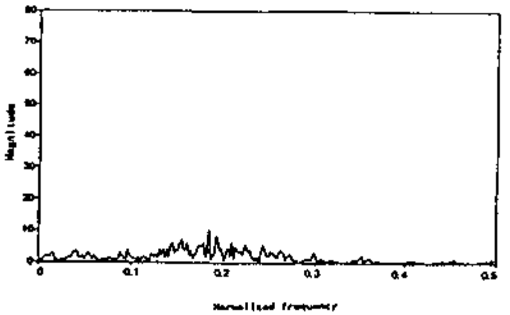


그림 25. 잔류 잡음의 주파수 스펙트럼

Fig 25. Frequency spectrum of residual noise.

실험 결과 잡음에서의 주기적 성분은 거의 제거가 되었고 대역 제한된 잡음의 경우도 크게 감쇠시킬 수 있었다. 그러므로 이와 동일한 목적을 가진 시스템 식별에 의한 능동 잡음제거의 경우에 비해 시스템의 복잡성을 대폭 간략화 하였으며 실시간 구현이 더욱 용이할 것으로 기대된다.

앞으로는 잔여 잡음의 영향도 줄일 수 있는 방법과 다중 잡음에 대한 병렬 시스템의 구성도 연구가 되어야 할 것이다. 이러한 능동 잡음제거는 공장이나 산업현장, 정숙한 환경을 원하는 공간에서 사용이 가능하리라 본다.

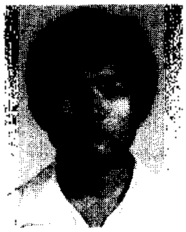
참 고 문 헌

1. G.E.Warnaka, "Active Attenuation of Noise-The State of the Art," Noise Contr. Eng., pp.100-110, May June 1982.
2. L.J.Eriksson, M.C.Allie and R.A.Grerner, "The Selection and Application of an IIR Adaptive Filter for Use in Active Noise Cancellation," IEEE Trans. ASSP, vol.35, pp.433 438, April 1987.
3. D.Graupe and A.J.Efron, "An Output-Whitening Approach to Adaptive Active Noise Cancellation," IEEE Trans. Circuit and Systems, vol.38, No.11, Nov.1991.
4. A.V.Oppenheim et al., "Single Sensor Active Noise Cancellation based on the EM Algorithm," ICASSP-92, vol.1, pp 277~280.
5. S.Haykin, Adatpive Filter Theory, Prentice-Hall, 1991.
6. S.D.Stearns and R.A.David, Signal Processing Algorithms, Prentice Hall, 1988.
7. B.Widrow and S.D.Stearn, Adaptive Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1985.
8. B.Widrow, et al., "Adaptive Noise Cancelling : Principles and Application," Proc. IEEE, vol.63, pp.1692-1716, Dec.1975.
9. S.Haykin, Modern Filters, Macmillan, 1990.
10. N.Ahmed, T.Natarajan, Discrete-Time Signal and Systems, Reston Publishing, 1983.

▲강 명 훈 1966년 5월 20일생

1990년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
1992년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
1992년 8월~현재 : (주) 단암 연구소(연구원)
※ 주관심분야 : 적응 신호 처리, RF 모듈

▲부 인 형 1965년 4월 19일생



1988년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
1990년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
1990년 9월~현재 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정
※ 주관심분야 : 적응 신호 처리, Neural Networks

▲강 철 호 1952년 2월 5일생

1975년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1979년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1977년~1981년 : 국방과학연구소(연구원)
1988년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1991년 1월~1992년 1월 : 미국 일리노이 대학 객원교수
1983년 3월~현재 : 광운대학교 전자통신공학과(부교수)
※ 주관심분야 : 적응 신호 처리, Neural, Networks, 음성 인식