

HMS시스템에서 적응필터를 이용한 자함의 소음감소 성능분석

Performance Analysis of Own Ship Noise Cancellation in Hull Mounted Sonar System Using Adaptive Filter

윤 경 식*, 정 태 진**, 이 균 경**

(Kyung-Sik Yoon*, Tae-Jin Jung**, Kyun-Kyung Lee**)

*김천대학 재활언어교정과, **경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(접수일자: 2009년 9월 12일; 수정일자: 2009년 11월 13일; 채택일자: 2009년 12월 21일)

수중에서 소나를 이용하여 표적을 탐지하고자 할 때 자함에서 발생하는 소음을 감소시켜 표적의 탐지성능을 향상시키는 것은 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 수상함에서 선체고정형소나(HMS)를 사용하는 경우 두 가지 운영모드에 대하여 자함의 소음감소 성능을 분석하였다. 운영자모드에서는 ALE(Adaptive Line Enhancer)기법을 적용하여 자함신호의 광대역 성분을 감소하므로 토널 성분의 탐지성능을 향상하였으며, 자동모드에서는 주 입력신호와 상관관계를 가진 기준 입력신호를 선정하여 조향 방위로 유입되는 잡음신호를 제거하였다. 적응필터를 설계하기 위하여 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘을 이용하였으며 실제 해상실험 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하므로 제안한 기법의 성능을 확인하였다.

핵심용어: 수동 소나, 소음 제거, NLMS, 표적탐지, ALE

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

In a passive sonar, the improvement of detection performance by using noise cancellation is usually a important problem. In this paper, we have analyzed the own-ship noise cancellation in the two operation modes which are used in the HMS system. In the operator mode, an adaptive line enhancer(ALE) is applied to improve the tonal detection by using broadband noise cancellation and the normalized least mean square(NLMS) algorithm is applied to the design of an adaptive filter. The reference input that is correlated with a primary input can be used to remove the noise incident on the observation direction in the automatic mode. Computer simulations with real sea trial data show that the proposed adaptive noise canceller has good performance in passive detection under HMS operation.

Keywords: Passive Sonar, Noise Cancellation, NLMS, Target Detection, ALE

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.6)

I. 서론

수중에서 소나를 이용하여 표적을 탐지, 추정하는 경우 자함에서 발생되어 센서에 유입되는 자함 소음신호를 추정하고 제거하는 것은 탐지성능을 향상시키는데 매우 중요한 일이다. 일반적으로 자함에서 발생하는 소음원은 토널 성분의 협대역 성분과 광대역 성분으로 구성되며, 다양한 경로를 통하여 센서에 유입된다 [1]. 자함소음 성분 중 토널 성분은 일반적으로 광대역신호 성분에 비하여

상대적으로 큰 신호특성을 가지며, 이는 표적의 탐지성능을 저해시키는 요소로서 소나 운영 시 이를 추정하고 제거하는 것이 필요하다.

해상에서 HMS를 이용하는 경우 소나 운영자는 두 가지 운영모드, 즉 운영자모드와 자동모드에서 자함의 토널 성분을 탐지하게 된다. 운영자모드에서는 조향 빔 신호에서 자함의 토널 성분을 추정하는 기능을 가지며, 자동모드에서는 조향 빔 신호에서 운영자가 설정한 기준 입력신호(reference input)와 상관관계를 가진 소음성분을 제거하는 기능을 가진다.

본 논문에서는 운영자모드에서 자함의 토널 성분을 효과적으로 추정하기 위하여 조향 빔 신호인 주 입력신호

(primary input)의 시간 지연신호를 기준 입력신호로 이용하는 ALE기법을 사용하였다 [2,3]. ALE기법은 주 입력신호의 광대역 성분을 감소하므로 협대역 성분의 추정 성능을 향상하기 위하여 널리 사용되는 방법으로 다양한 적응필터 설계가 가능하다. 자동모드에서는 조향 빔 신호에서 소음성분을 제거하기 위하여 주 입력신호와 상관관계를 가진 기준 입력신호를 선정하였다. 기준 입력신호를 선정하기 위하여 HMS에 유입되는 방위 별 자잡소음 특성을 분석하였으며, 조향 빔 신호와 적절한 간격을 가진 인접 빔 신호를 기준 입력신호로 선정하였다.

일반적으로 소음제거 알고리즘은 Wiener에 의해 제안된 최적필터가 널리 알려져 있으며 관측신호의 특성에 따라 고정식 (fixed)필터 혹은 적응식 (adaptive)필터를 사용한다. 본 논문에서는 실제 해상데이터가 가지는 비정상성 (nonstationary)에 적용하기 위하여 적응필터를 사용하였으며 필터계수를 구하기 위하여 연산량이 작고 구현이 간단한 NLMS (normalized Least mean square) 알고리즘을 사용하였다 [4].

마지막으로 제안한 기법의 타당성을 확인하기 위하여 HMS를 통해 얻어진 실제 해상 실험 데이터를 이용하여 그 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 NLMS 알고리즘과 ALE기법에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 HMS 운영 시 운영자모드에서 ALE기법을 적용하여 토널 성분을 추정하는 것과 자동모드에서 조향 빔 신호의 소음제거를 위한 적절한 기준 입력신호 선정에 대하여 설명하였다. 4장에서는 해상 실험 데이터에 제안한 방법을 적용하여 소음제거 성능을 분석한 다음 5장에서 결론을 맺는다.

II. 적응 소음제거 알고리즘

적응식 소음제거기(adaptive noise canceller)의 구조는 그림 1과 같다. 이때 $x(n)$ 은 주 입력신호이며 $d(n)$

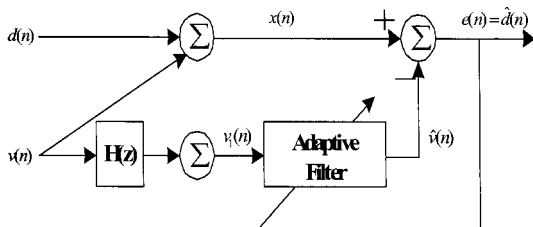


그림 1. 적응식 소음제거기
Fig. 1. Adaptive noise canceller.

은 추정하고자 하는 신호, $v(n)$ 은 제거하고자 하는 소음 신호, $v_1(n)$ 은 기준 입력신호이다. 그리고 $H(Z)$ 는 소음신호 $v(n)$ 이 신체 구조물 또는 수중환경을 통해 기준 입력센서로 전달되는 경로의 응답특성이다. 일반적으로 $v_1(n)$ 은 $d(n)$ 과 상관성이 없으며 $v(n)$ 과 상관관계를 가진다.

2.1. NLMS 알고리즘

기준 입력신호 $v_1(n)$ 을 이용하여 센서에 입력되는 소음신호의 추정치를 구하기 위한 적응필터의 인출력 관계는 식 (1)과 같이 표현되며, $w_n(k)$ 는 적응필터의 필터계수이며 P 는 적응필터의 길이를 나타낸다.

$$\hat{v}(n) = \sum_{k=0}^P w_n(k)v_1(n-k) = W_n^H v_1(n) \quad (1)$$

그리고 오차 $e(n)$ 은 식 (2)로 표현된다.

$$e(n) = x(n) - \hat{v}(n) = x(n) - W_n^H v_1(n) \quad (2)$$

이때 적응식 소음제거기를 구현하는 목적은 식 (3)으로 표현되는 평균제곱오차 (mean-square error), $E|e(n)|^2$ 를 최소화하기 위한 필터계수벡터 W_n 을 순차적으로 구하는 것이다.

$$E|e(n)|^2 = E|x(n) - W_n^H v_1(n)|^2 \quad (3)$$

적응식 소음제거기의 필터계수 W_n 은 최대경사법 (Steepest descent)을 이용하여 구할 수 있으며 식 (4)와 같은 LMS알고리즘으로 표현된다 [4,5].

$$W(n+1) = W(n) + \mu e(n)v_1^*(n) \quad (4)$$

식 (4)에서 변수 μ 는 필터의 수렴속도를 결정하는 값이며 수렴하기 위한 μ 값의 범위는 식 (5)와 같다 [4]. 이때 λ_{max} 는 입력신호 $v_1(n)$ 의 자기상관 (autocorrelation) 행렬의최대고유치 값을 나타내며 $E\{v_1(n)v_1^*(n)}^2$ 는 입력신호의 전력을 나타낸다.

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{max} \cdot p \cdot E\{v_1(n)v_1^*(n)}^2} \quad (5)$$

일반적으로 변수 μ 의 값은 클수록 수렴속도는 빨라지나 수렴 후 잔여오차는 크게 된다. 식 (4)로 표현되는 LMS 알고리즘은 큰 입력신호에 대한 잡음신호의 증폭현상이 발생할 수 있으므로 본 논문에서는 이에 대해 견실한 특성을 가지며 식 (6)으로 표현되는 NLMS 알고리즘을 사용한다. 여기서 step size β 는 입력신호의 크기에 의존하지 않으며 $0 < \beta < 2$ 인 경우에 수렴을 만족한다.

$$W(n+1) = W(n) + \frac{\beta}{\|v_1(n)\|^2} e(n)v_1^*(n) \quad (6)$$

2.2. ALE 구조

광대역 잡음 성분을 제거하여 협대역 신호 성분의 탐지 성능 향상에 사용되는 ALE기법은 Widrow 등에 의하여 제안되었으며 ALE의 구조는 그림 2와 같다 [2,3].

$x(n)$ 는 협대역신호 성분 $d(n)$ 과 광대역 잡음 성분 $v_1(n)$ 의 합으로 나타나며 주 입력신호의 시간 지연된 신호인 기준 입력신호는 식 (7)으로 표현된다.

$$x(n - n_0) = d(n - n_0) + v_1(n - n_0) \quad (7)$$

입력신호의 광대역 잡음 성분이 백색 가우시안 (white Gaussian) 잡음특성을 가지는 경우 지연시간 값, n_0 가 충분히 크다면 기준 입력신호의 광대역 잡음 성분이 주 입력신호의 광대역 잡음 성분과 상관성이 없어지게 된다. 그러나 두 입력신호에 포함된 협대역신호 성분은 협대역신호의 주기적 특성에 의해 서로 상관성을 가지게 될 것이며 이러한 신호의 상관성에 의해 ALE 알고리즘을 사용하는 경우 주 입력신호에 포함된 협대역신호 성분을 효과적으로 추정할 수 있다.

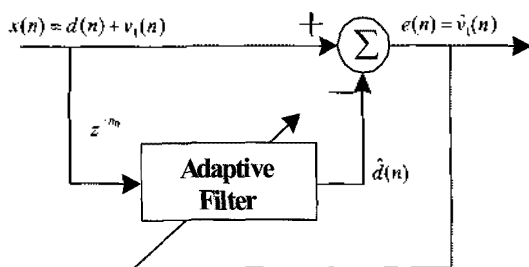


그림 2. ALE 구조
Fig. 2. Block diagram of ALE.

III. HMS운영 하에서 소음제거

HMS 운영 시 센서에 수신되는 신호는 자함의 소음성분과 해양소음 및 유체소음 등의 합으로 표현된다. 이때 주변 해양소음 신호는 주로 광대역 잡음 특성을 가지며 유체소음은 거리 별 상관성이 작은 특성을 가진다. 수상함의 HMS는 함의 전면부에 부착되어 운영되며 엔진과 프로펠러 등에서 발생하는 자함의 토널소음이 선체 및 수중환경을 통해 근거리에서 유입되므로 주변소음에 비하여 탐지성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 HMS의 표적 탐지 성능을 향상시키기 위해서 상대적으로 상관성이 큰 자함소음의 토널성분을 추정하고 감소하는 기술이 필요하다.

HMS는 세계적으로 여러 가지 모델이 사용되고 있으나 본 논문에서 실험에 사용된 형태는 그림 3과 같이 64개의 원통형 센서로 이루어진 모델을 사용하였다. 센서번호는 본 논문에서 편의상 사용하는 것이며 1번, 64번 센서 위치는 선미 방향을 나타내며 32번, 33번 방향은 선수 방향을 나타낸다.

3.1. ALE를 이용한 소음제거

선배열 소나를 이용하여 관측방향으로 유입되는 소음 성분을 제거하는 경우 빔형성 (beamforming)기법을 처리한 후 조향 빔 신호를 결정한다. 원통형인 HMS에서 빔형성기법은 선배열 센서의 확장된 형태로 기준센서에 대한 각 센서의 시간차를 추정할 수 있다면 이를 역으로 보상함으로써 빔형성을 할 수 있다. 빔형성을 거친 후 소나 운영자는 두 가지 운영모드에서 조향 방향의 빔 신호를 분석한다.

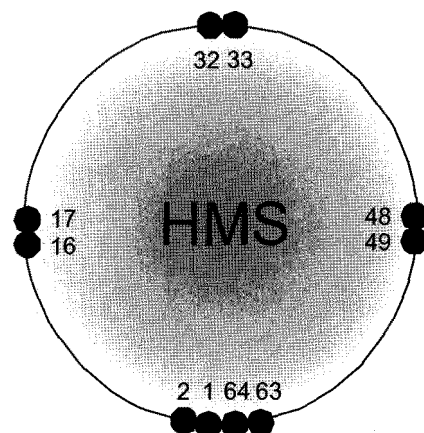


그림 3. HMS 운영구조
Fig. 3. Operation structure of HMS.

운영자모드에서는 조향 빔 신호에서 자함의 광대역 잡음성분을 감소하므로 토널 성분의 추정성능을 향상하고자 한다. 그림 4는 HMS에 수신된 신호성분 중에서 4 KHz ~ 6 KHz 대역에서 광대역잡음 성분의 상관관계 특성을 나타낸 것이며, 그림에서 광대역 잡음의 상관성은 비교적 백색 가우시안과 비슷한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 그림 2에서 시간지연 값 n_0 를 신호대역폭의 역수 값보다 충분히 크게 설정하므로 광대역 잡음의 상관성을 제거할 수 있으며, 이를 이용하여 ALF를 사용하는 경우 조향 빔 신호에서 자함의 광대역 성분을 제거할 수 있다.

3.2. 기준 입력신호의 선정

자동모드에서는 운영자가 설정한 기준방향에서 조향 방향으로 유입되는 상관성을 가진 소음신호를 제거하고자 하며, 이를 위하여 HMS에 유입되는 자함소음의 방위별 성분을 분석하여 소음제거에 적절한 기준 입력신호를 설정한다. 본 논문에서는 적응필터의 기준 입력신호 선정을 위하여 우선 빔 신호 사이의 상관관계 특성을 확인하였다. 이때 상관성 정도는 상관관계계수 (correlation coefficient)를 사용하였으며 이는 식 (8)과 같이 표현된다. 식에서 C_{xy} 는 두 랜덤신호 x, y 의 공분산이며 σ_x, σ_y 는 두 신호 x, y 의 표준편차를 나타낸다.

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

그림 5는 48번 빔 신호를 기준으로 HMS의 전 방위에

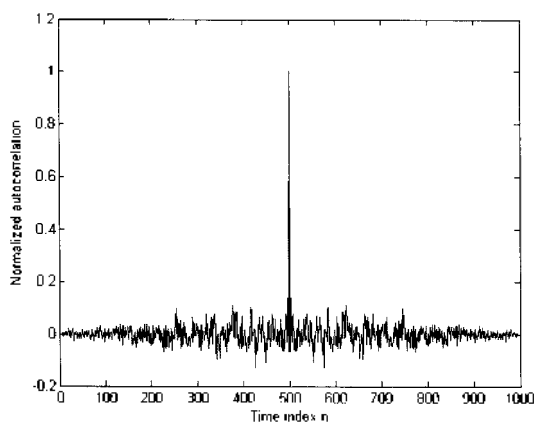


그림 4. 선체고정형 소나에 수신된 광대역신호의 상관관계
Fig. 4. The autocorrelation of broadband noise under HMS operation.

유입되는 신호의 상관성 정도를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 기준 빔 (48번)과 거리가 멀어질수록 빔 신호 사이의 상관관계가 낮아짐을 알 수 있으며 이는 기준 빔 신호와 상대적으로 가까운 빔 신호를 기준 입력신호로 선정하는 것이 신호의 상관성을 고려할 때 타당함을 알 수 있다.

일반적으로 배열센서의 구조와 입력신호의 주파수 특성에 따라 빔 패턴은 다양하게 나타난다 [6]. 그림 6은 HMS에서 중심주파수가 5 KHz 신호에 대하여 빔 패턴을 그린 것이다. 일반적으로 빔 간의 신호가 서로 간섭영향을 줄이기 위하여 최소한 -3 dB 이상의 주엽 (mainlobe) 간격을 유지하여야 하며 그림 6에서 중심주파수가 5 KHz 신호인 경우 빔 간 신호의 간섭영향을 줄이기 위하여 빔 간 간격은 최소한 4빔 이상을 유지하여야 함을 확인할 수 있다.

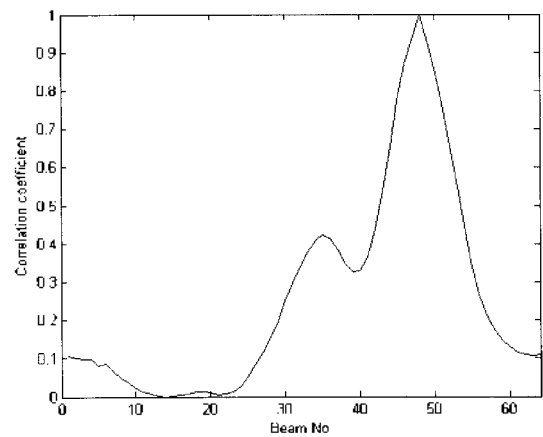


그림 5. 주 입력빔(48번)신호와 다른 빔 사이의 상관관계
Fig. 5. Correlation between primary input beam(No. 48) and other beams.

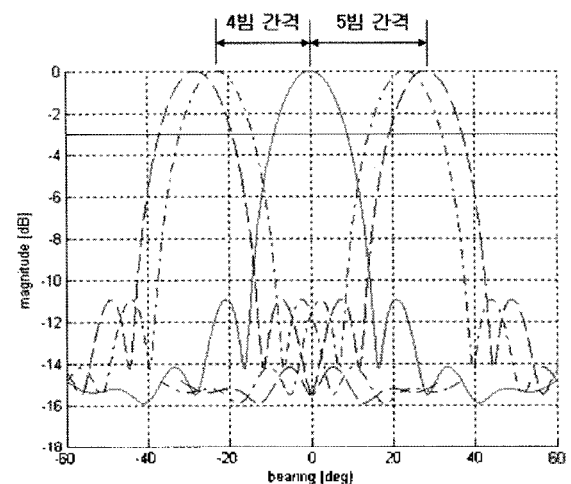


그림 6. 빔 패턴($f=5\text{KHz}$)
Fig. 6. Beam power pattern ($f=5\text{KHz}$).

IV. 해상실험데이터를 이용한 성능분석

HMS 운영 하에서 자함의 소음제거 성능을 확인하기 위하여 제안한 기법을 해상실험 데이터에 적용하여 그 결과를 분석하였다. 실험에 사용 된 데이터는 HMS를 탑재한 수상함에서 다양한 속도에 대하여 센서에 수신된 신호를 획득한 것이며 샘플링주파수는 31250 Hz로 설정하였다. 그림 7은 소음제거 알고리즘을 적용하기 위한 신호처리 과정을 나타낸다. 전처리 과정에서 우선 빔 신호를 입력으로 하여 주 입력신호와 기준 입력신호를 결정하며, 다음으로 관심대역을 선정한다. 그리고 혼합기(Mixer)를 통해 기저대역으로 옮긴 후 NLMS 알고리즘을 이용하여 주 입력신호에 존재하는 소음성분을 제거한다. 추정된 토널신호는 FFT와 소음 표준화(Normalization)를 통해 문턱값 이상의 값을 표현하게 된다. 시뮬레이션에서 관심대역으로 4~6 KHz 대역을 설정하였으며 감축지수(decimation factor)는 8, FFT는 4096포인트를 사용하였으며 S2PM소음 표준화를 사용하였다.

필터를 설계하기 위하여 NLMS 알고리즘을 사용하였으며 알고리즘에 사용되는 변수 값들은 경험적인 값으로 설정하였다. 이때 적응필터길이 N 는 32~128 범위에서, step size β 는 0.001~1 범위의 값에 대하여 수렴속도와 연산량을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 시뮬레이션에 사용 된 데이터의 길이는 0.5초이며 감축지수 8에 의하여 1953개의 샘플데이터를 사용하였다.

그림 8은 자함의 속도가 12 KTs이며 4 KHz ~ 6 KHz 대역에서 1개의 토널 성분을 가지는 빔 신호에 대하여 ALE를 이용하여 광대역잡음 제거 성능을 확인한 것이다. 이때 적응필터 길이 N 는 64, 변수 β 값은 0.05를 사용하였다. 기준 입력신호의 시간지연 값 n_0 은 광대역 잡음의 상관성을 제거하기 위하여 신호대역폭의 역수 값, $1/2 \text{ KHz} = 0.5 \text{ msec}$, 보다 충분히 큰 0.1초로 설정하였다. 그림 8에서 (a)는 잡음제거 전의 신호이며 (b)는 ALE를 적용한 후 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ALE를 적용하여 자함의 토널 성분을 추정하는 경우 광대역 성분의 감소에 의하여 약 30 dB의 성능개선

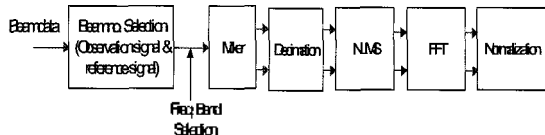


그림 7. 전처리 과정
Fig. 7. Preprocessing diagram.

효과가 있음을 확인할 수 있다.

그림 9는 같은 조건에서 2개의 토널 성분을 가지는 빔 신호에 대하여 적응필터 길이 N 는 128, 변수 β 값은 0.1을 사용하여 ALE를 적용한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 ALE를 적용한 경우 4400 Hz 대역의 토널 성분은 약 30 dB 이상, 5200 Hz 토널 성분은 약 20 dB 이상 추정 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과 HMS에 수신된 자함소음은 ALE기법을 이용하여 광대역 성분을 감소하므로 토널성분의 추정 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 NLMS 알고리즘의 변수값 설정에서 β 값이 작아질수록 자함의 토널 성분은 향상될 수 있으나 해상신호의 잡음성분에 의하여 전체적인 추정성능이 저하될 수 있으며, 2개의 토널 성분을 가지는 경우 1개의 토널 성분 신호에 비하여 필터길이가 증가하여 연산량이 증가될 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 다양한 해상실험 데이터에 대한 시뮬레이션을 수행하여 HMS시스템에 견실한 변수값을 설정하여야 할 것이다.

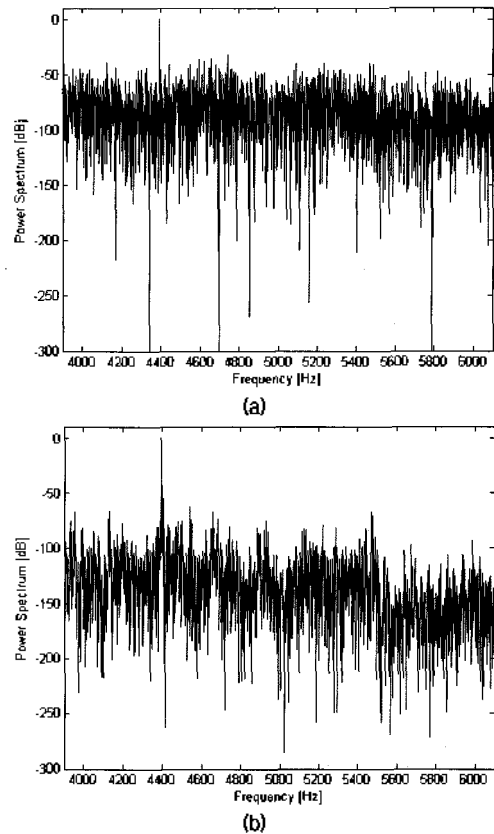


그림 8. ALE 처리 결과 (1토널)
(a) 스펙트럼 신호 (b) ALE 적용 후 스펙트럼 신호
Fig. 8. Result of ALE processing (1 tonal).
(a) Spectrum (b) spectrum after ALE

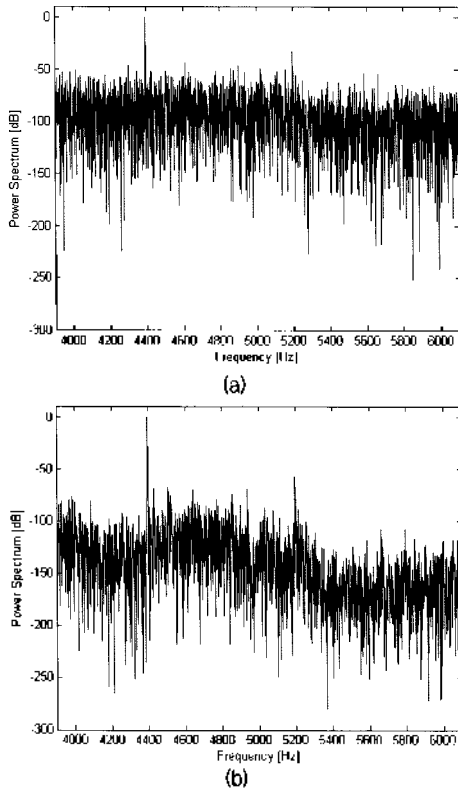


그림 9. ALE 처리 결과 (2토널)
 (a) 스펙트럼 신호 (b) ALE 적용 후 스펙트럼 신호
 Fig. 9. Result of ALE processing (2 tonal).
 (a) spectrum (b) spectrum after ALE

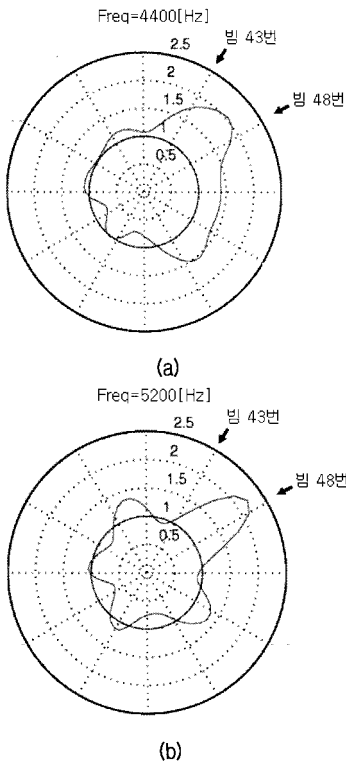


그림 10. 토널 성분의 방위별 크기 분포
 (a) $f = 4400\text{Hz}$ (b) $f = 5200\text{Hz}$
 Fig. 10. Distribution of tonal intensity in different directions.
 (a) $f = 4400\text{Hz}$ (b) $f = 5200\text{Hz}$

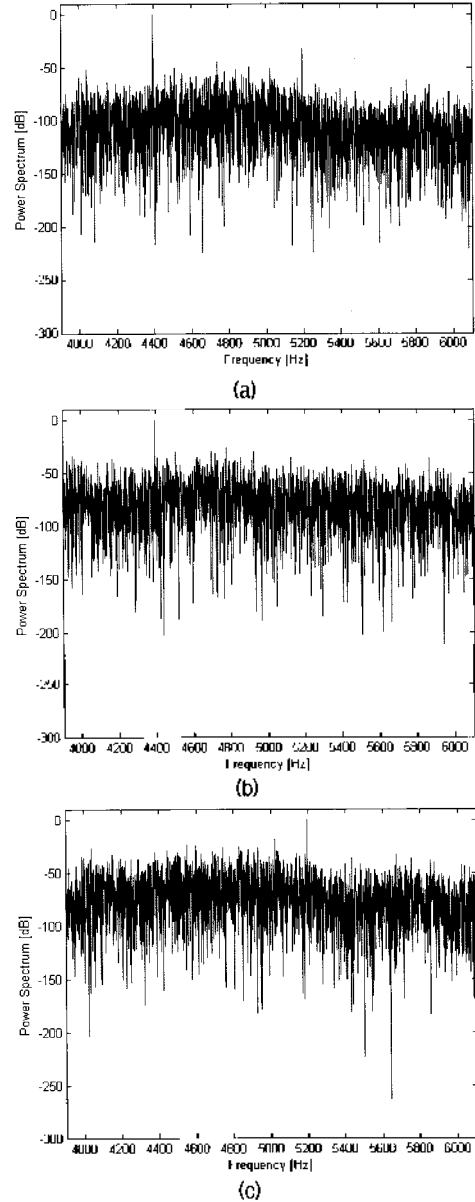


그림 11. 기준신호를 가진 소음제거 결과
 (a) 주 입력신호(48번 빔) (b) 기준 입력신호(43번 빔)
 (c) 소음제거 된 결과
 Fig. 11. Result of noise cancellation with reference input.
 (a) primary input (beam No. 48)
 (b) reference input(beam No. 43)
 (c) output of the noise canceller

그림 10은 소음제거에 적절한 기준 입력신호를 설정하기 위하여 HMS에 유입되는 자함소음의 방위 별 분포를 그린 것이다. 그림에서 5200 Hz 대역의 토널 성분은 48번 빔을 기준으로 비교적 좁은 방위에 분포되어 있으며 4400 Hz 대역의 토널 성분은 43번 빔에서 48번 빔까지 넓은 방위에 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 48번 빔 신호에 유입되는 4400 Hz 소음 성분을 제거하기 위한 기준 입력신호는 48번 빔 신호와 상관성을 가지며 빔 간

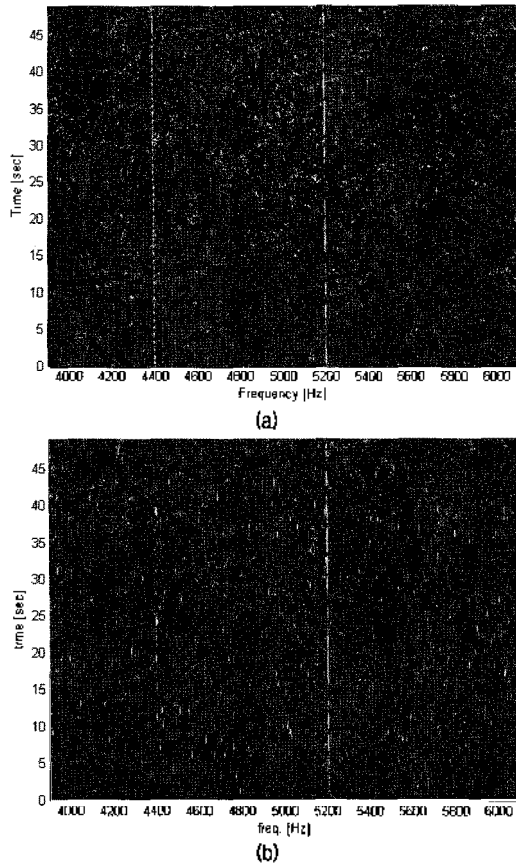


그림 12. 스펙트로그램 결과
 (a) 주 입력신호(48번 빔) (b) 소음제거 된 결과
 Fig. 12. Spectrogram after noise cancellation
 (a) primary input (beam No. 48)
 (b) output of the noise canceller

간섭현상을 줄이기 위하여 5개의 빔 간격을 가지는 43번 빔 신호로 설정할 수 있다.

그림 11은 주 입력신호가 48번 빔 신호인 경우 기준 입력신호를 43번 빔 신호로 하여 48번 빔 신호에 존재하는 4400 Hz 소음 성분을 제거한 결과를 나타낸 것이다. 이때 적응필터 길이 N 는 64, 적응변수 μ 값은 0.5를 사용하였다. 그림 12는 소음규준화를 수행한 후 스펙트로그램 결과를 나타낸 것이며 시간에 따른 결과를 통해 4400 Hz대역의 소음 성분이 제거된 결과를 확인할 수 있다.

그림 13은 NLMS 알고리즘의 수렴속도와 오조정 (misadjustment) 오차의 크기를 확인하기 위하여 200개의 평균을 통해 학습곡선을 나타낸 것이다. 그림 13에서 최적오차에 수렴하기 위하여 ALE 경우 약 500회의 반복 수행 후에 도달하며 기준신호를 이용하여 소음을 감소하는 경우 약 300회의 반복 수행 후에 도달함을 확인할 수 있다.

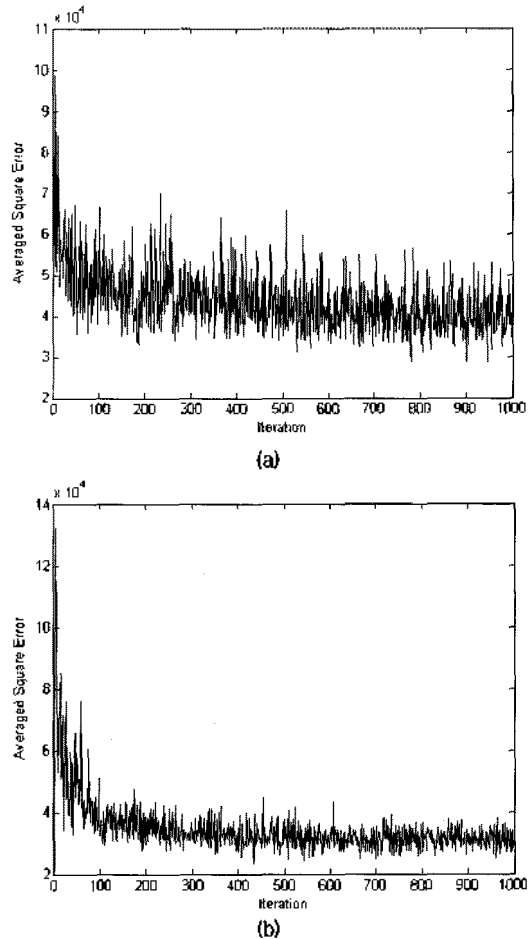


그림 13. NLMS 알고리즘 학습곡선
 (a) Adaptive Line Enhancer(2 tonal)
 (b) Adaptive Noise Canceller
 Fig. 13. Learning curves of each NLMS algorithm.
 (a) Adaptive Line Enhancer(2 tonal)
 (b) Adaptive Noise Canceller

V. 결론

해상에서 HMS 를 운영하여 표적을 탐지하는 경우 센서에 유입되는 자함의 소음을 추정하고 감소시키는 것은 표적의 탐지성능을 향상하는데 중요한 일이다. 본 논문에서는 두 가지 운영모드에 대하여 자함에서 발생하는 소음을 추정하고 제거하기 위하여 소음제거 적응필터를 사용하였으며 필터설계를 위하여 NLMS알고리즘을 사용하였다. 운영자 모드에서는 ALE기법을 이용하여 자함소음의 광대역 잡음을 제거하므로 토널 성분의 탐지성능이 20~30 dB 이상 향상됨을 확인할 수 있었다. 그리고 자동 모드에서는 주 입력신호의 잡음성분과 상관성을 가진 인접 빔 신호를 기준 입력신호로 설정하므로 조향 빔 신호에서 상관성을 가진 잡음성분을 제거할 수 있었다. 현재 본 논문에서는 한정된 실험데이터에 대하여 제안한 기법

의 성능을 분석하였으며 앞으로 다양한 해상실험 데이터에 대하여 시뮬레이션을 수행하므로 제안한 기법의 견실성을 향상하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2009년 교육과학기술부 김천대학 교육역량강화사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound* (3rd Ed.), McGraw-Hill, NewYork, 1983.
2. B. Widrow et al., "Adaptive noise cancelling: principles and applications", *Proc. IEEE*, vol. 63, no. 12, pp. 1692-1716, 1975.
3. Min Li, Li Yin, and Haining Huang, "Background Noise Cancelling for Acoustic Detection and Passive Localization," *Proc. UDT Europe*, June 2008.
4. M. H. Hayes, *Statistical Digital Signal Processing and Modeling*, John Wiley&Sons, INC, 1991.

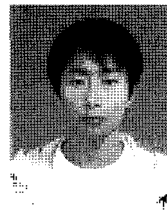
5. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th ed., Prentice-hall, New Jersey, 2002.
6. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, 1991.

저자 약력

•윤 경 식 (Kyung-Sik Yoon)

한국음향학회지 제19권 제1호 참조
현재: 김천대학 재활언어교성과 교수

•정 태 진 (Tae-Jin Jung)



2007년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
2009년 2월 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 (공학석사)
2009년 3월~현재 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정
※ 주관심분야 : 수중음향신호처리, 분산센서망 신호처리, 표적탐지 및 추적

•이 균 경 (Kyun-Kyung Lee)

한국음향학회지 제26권 제2호 참조