

ASM 신경망을 이용한 음향 표적의 토날 신호 탐지

Tonal Signal Detection for Acoustic Targets
using ASM Neural Network

이성은^{*}, 황수복^{*}, 남기곤^{**}, 김재창^{**}

Sung-Eun Lee^{*}, Soo-Bok Hwang^{*}, Ki-Gon Nam^{**}, Jae-chang Kim^{**}

요 약

수동 소나 시스템에서 표적을 탐지, 식별하는데 가장 중요한 인자는 표적에서 발생하는 토날 신호 성분이다. 수중의 주변잡음과 표적소음이 복합된 환경하에서 표적의 토날 신호 성분을 정확히 추출하는데는 신호 탐지 준위 설정이나 주변잡음의 변화에 의해 어려움이 있다. 본 논문에서는 ASM 신경망을 이용하여 신호 탐지 준위 설정이나 주변잡음의 변화에 강인한 음향 표적의 토날 신호 탐지 방식을 제안한다. 모의 시뮬레이션 및 실제 표적 신호에 적용하여 우수한 토날 신호 탐지 성능을 보인다.

Abstract

Tonal signals generated from the acoustic targets are of particular importance for target detection and classification in passive sonar systems. The underwater noise consists of a mixture of ambient noise and radiated noise of targets. Detection of exact tonal signals depends on signal detection threshold and variation of ambient noise. In this paper, the tonal signal detection method of acoustic targets using ASM(autoassociative memory) neural network, which is not sensitive to variation of signal detection threshold and ambient noise, is proposed. It is confirmed by simulation and application of real acoustic targets that the proposed method shows good performance for tonal signal detection.

1. 서론

수중 음향센서를 통해서 수신된 수중 소음(underwater noise)은 해역의 자리적, 환경적 특성에 따른 주변잡음(ambient noise)과 각종 소음원(어선, 상선, 수상함정, 잠수함정, 어뢰등)으로부터 발생된 소음들이 복합되어 나타난다. 수동 소나 시스템은 이러한 복합 소음으로부터 소음원의 기계장치인 엔진, 프로펠러, 기아 박스 및 보조기계류 등에서 발생하는 토날 신호 성분(tonal signal components)을 탐지, 분석하여 표적을 식별하게 된다[1,2]. 기존의 토날 신호 탐지 방식은

그림 1과 같이 FFT로 부터 순시 스펙트럼을 형성하고, 평균 스펙트럼을 구한 후 배경잡음(background noise)의 평균을 추정한다. 그리고 잡음평균 추정값으로 본래 소음의 스펙트럼으로부터 추정된 평균 배경잡음을 제거하여 규준화(normalization)한 다음 규준화된 평균 스펙트럼에 적절한 신호 탐지 준위(signal detection threshold)를 설정하므로써 탐지 준위 이상되는 신호들을 토날 신호로 탐지한다[5]. 그러나 이 방식은 신호 탐지 준위 설정값에 따라 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)가 낮은 토날 신호 성분이 표적 신호로 탐지되지 않거나 신호 탐지 준위 이

상되는 주변잡음 변화값이 토날 신호로 잘못 탐지되게 되는 단점이 있다.

ASM(autoassociative memory) 신경망은 심한 잡음을 가진 불완전한 패턴이나 왜곡된 패턴이 제시되었을 때 주어진 패턴이 무엇인지를 판단하여 본래의 완전한 형태를 유추하는 데 널리 사용되고 있다[3,7].

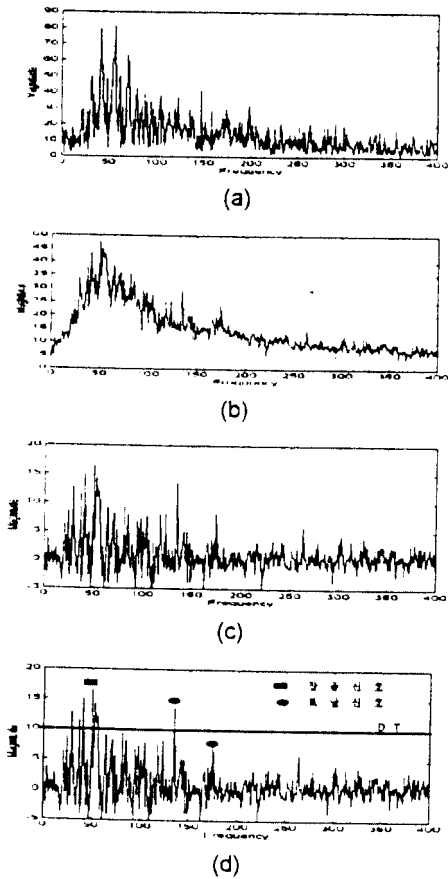
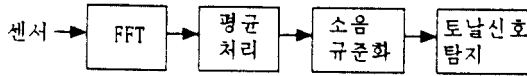


그림 1. 기존의 토날 신호 탐지 방법
(a)순시 스펙트럼, (b)평균 스펙트럼
(c)소음 규준화, (d)토날 신호 탐지

Fig1. Classical tonal signal detection method
(a)instantaneous spectrum, (b)average spectrum
(c)noise normalization, (d)tonal signal detection

본 논문에서는 기존의 토날 신호 탐지 제한점인 미세한 신호가 표적 신호로 탐지되지 못하거나 주변잡음이 토날 신호로 잘못 탐지되는 문제를 해결하기 위해 ASM 신경망을 도입하여 표적 소음과 주변잡음이 복합된 상황에서 불완전한 주변잡음 성분을 제거하여 토날 신호 성분만을 탐지하는 표적의 토날 신호 탐지 방식을 제안하고, 모의 시뮬레이션 및 실제 표적 신호에 적용하여 여러 다른 주변잡음 환경하에서도 토날 신호 탐지 성능이 우수함을 보인다.

II. 토날 신호 탐지를 위한 신경망 구성

수중 음향센서에 수신된 표적 소음은 주변잡음에 의해 상당히 오염될 수 있으므로 기존의 토날 신호 탐지 방식으로 표적의 토날 신호 성분을 정확히 탐지하는데는 어려움이 있다. 본 논문에서 제안된 토날 신호 탐지 방식은 그림 2와 같이 기존의 방식에 ASM 신경망을 도입하였다. ASM 신경망에 입력을 위한 전처리 과정으로써 소음 규준화된 스펙트럼 결과에 신호 탐지 준위를 설정하여 그 이상되는 주파수 빈 값은 모두 1, 탐지 준위 이하의 주파수 빈은 모두 0으로 할당하여 주파수를 나타내는 행(row)이 F, 시간을 나타내는 열(column)이 T인 2차원 $F \times T$ 크기의 디지털 이미지 패턴을 형성한다. ASM 입,출력 노드수는 $F \times T$ 개로 구성되며 이진수 0, 1 값을 입력받아 작동된다.

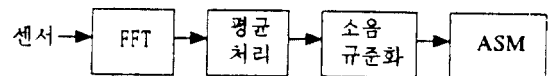


그림 2. 제안된 토날 신호 탐지 방식

Fig 2. Proposed tonal signal detection method

ASM 입력 신호 패턴이 소음 규준화된 결과로부터 이진수(0, 1)로 동작되기 때문에 신호가 주변잡음에 의해 상당히 오염될 경우 서로 밀접한 상관 관계(correlation)를 가질 수가 있다. 이런 경우 Hopfield ASM 방식은 적용하기 어렵다. 본 논문에서 적용 3된 ASM 신경망은 Hopfield ASM 방식과 유사한 순환(recurrent) 구조를 가지며 다

본 학습(storage) 및 실행(retrieval) 알고리즘에 의해 수행되는 동기식 ASM 방식으로 그 구성은 그림 3과 같다[4].

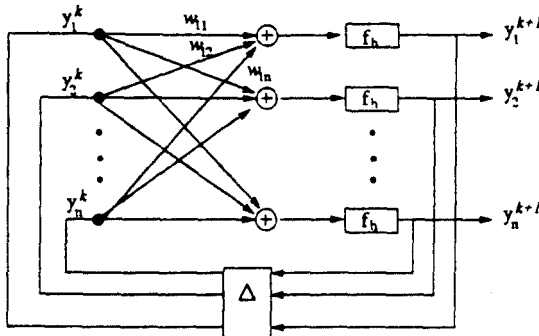


그림 3. 적용된 ASM 신경망 구성
Fig 3. Configuration of applied ASM neural network

ASM 학습시 뉴런 i 과 뉴런 j 사이의 연결강도 (weight)는

$$w_{ij} = \min \left[1, \sum_{s=1}^M x_i^s x_j^s \right] \quad (1)$$

로 할당한다. 여기서 M은 기억된 패턴수이고, x_i^s 은 패턴 s의 노드 i의 값으로 0 혹은 1이다. 또한 다음의 3가지 성질을 설정하였다.

- ① $w_{ij} = w_{ji}$
- ② w_{ij} 는 0 혹은 1의 값을 가진다.
- ③ 노드 i와 j는 대표(exemplar) 패턴 중 최소한개 이상 i번째와 j번째 노드가 1이 되는 경우에만 연결된다.

ASM의 연결강도를 학습시킨 후에 신경망은 다음 단계로 작동된다.

① 수신된 이미지의 노드 값으로 노드 출력을 초기화한다. 여기서 노드 i의 출력은 y_i 로 표시한다.

② 노드 출력을 다음과 같이 동기식으로 대체한다.

$$y_j(t+1) = f_h \left[\sum_{i=0}^{N-1} w_{ij} y_i(t) \right] \quad 0 \leq j \leq N-1, t=0,1 \quad (2)$$

여기서 N은 전체 노드수이고, f_h 는 비선형 함수로 아래와 같이 정의한다.

$$f_h(a) = \begin{cases} +1, a > b \\ -1, a < b \\ y_j(t+1) = y_j(t), a = b \end{cases} \quad (3)$$

여기서 b는 미리 설정되는 임지 준위로써 사전에 학습된 패턴을 복구하기 위한 기준값이 되며 25로 설정하였다. 상기 ASM 실행은 단지 ② 단계가 두번 반복된다.

본 논문에서 적용한 ASM의 학습패턴은 주파수와 시간을 나타내는 32x32 이진수(0, 1) 이미지로 구성된 32개의 패턴을 사용하였으며, 그림 4에 주파수 빈이 2, 4, 16, 20, 28, 32 번째에 존재하는 6가지 패턴을 나타내었다.

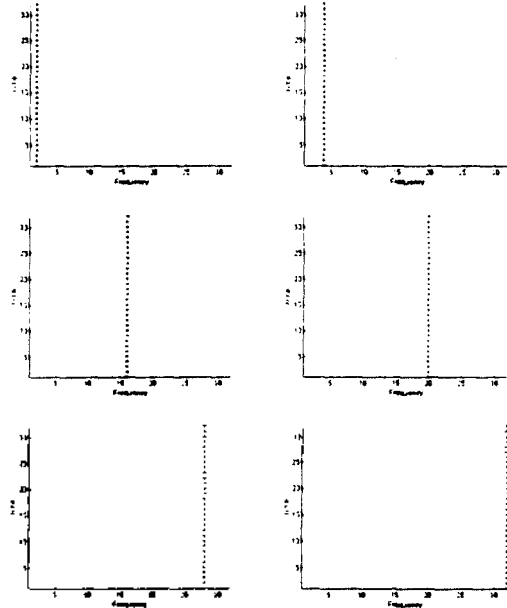


그림 4. ASM 학습 패턴 이미지
Fig 4. Image patterns for training ASM

Ⅷ. 실험 및 고찰

3.1 모의 시뮬레이션 및 고찰

본 시뮬레이션을 위하여 모의 표적 신호로 크기가 6, 중심 주파수가 1,980Hz 대역폭이 1Hz,

2,100Hz 대역폭이 14Hz, 2,350Hz 대역폭이 12Hz 인 토날 신호 3 개에 평균이 0 인 백색 가우시안 잡음을 신호 대 잡음비(SNR)가 -15dB, -12dB 되도록 σ^2 을 추가하여 15.36KHz 로 표본화 하여 신호를 생성시켰다.

FFT 는 1K-point 처리를 수행하였고 평균 처리는 N=8 의 선형 평균(linear average) 방식을 사용하였으며 소음 규준화는 TPM(Two-Pass Mean) 방식으로 국부창(local window) 길이는 21 빈(bin), 국부 탐지 준위(local detection threshold)는 1 차 평균값에 1.2 배로 설정하였다[5,6]. 모의 표준 신호로 시뮬레이션을 위한 신호 주파수 범위가 1,920Hz - 2,400Hz 까지 에 대해 신호 대 잡음비 각각 -15dB, -12dB 인 잡음 신호 및 토날 신호의 선형 평균 처리된 스펙트럼은 그림 5 와 같다.

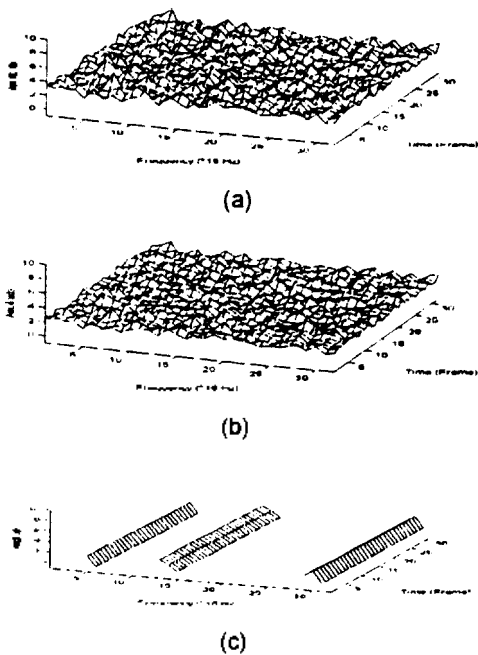


그림 5. 시뮬레이션을 위한 표준 신호

- (a)변화가 심한 잡음 신호
- (b)변화가 적은 잡음 신호
- (c)토날 개수가 3 개인 신호

Fig 5. Standard signals for simulation

- (a)noise is highly variable
- (b)noise is lowly variable
- (c)signal of 3 tonal lines

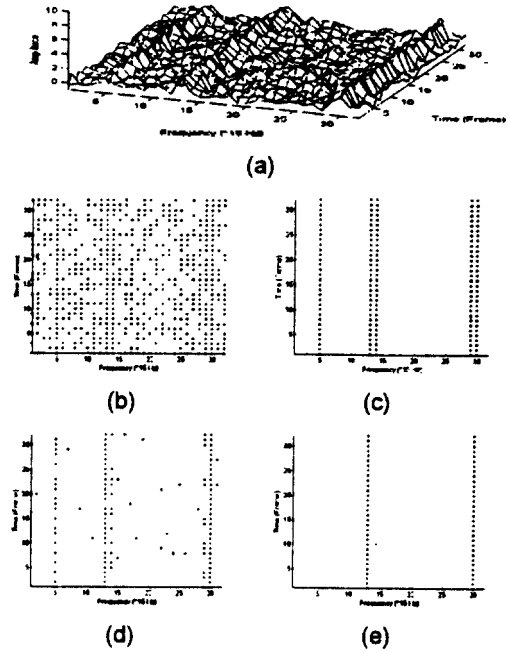


그림 6. 토날 신호 탐지 결과(SNR=-15dB)

- (a)변화가 심한 잡음신호에 토날 3 개가 섞인 복합 신호의 소음규준화된 신호
- (b)ASM 입력 패턴(신호탐지준위 : 0.1)
- (c)ASM 출력 패턴(신호탐지준위 : 0.1)
- (d)ASM 입력 패턴(신호탐지준위 : 1.0)
- (e)ASM 출력 패턴(신호탐지준위 : 1.0)

Fig 6. Result of tonal signal detection (SNR=-15dB)

- (a)noise normalized spectrogram of a mixture of 3 tonal lines and noise is highly variable
- (b)ASM input pattern(SDT : 0.1)
- (c)ASM output pattern(SDT : 0.1)
- (d)ASM input pattern(SDT : 1.0)
- (e)ASM output pattern(SDT : 1.0)

그림 5(a)의 변화가 심한 잡음 신호에 토날 신호 3 개를 혼합한 신호 대 잡음 준위가 -15dB 인 복합 신호에 대한 토날 신호 탐지 결과를 그림 6 에 나타내었다. 그림 6(a)는 복합 신호에 대해 TPM 소음 규준화된 신호이며, 그림 6(b)는 소음 규준화된 평균 신호 준위에 신호 탐지 준위가 0.1 만큼 크게 설정하여 그 이상되는 신호는 1, 신호 탐지 준위 이하의 신호는 0 으로 한 ASM

32x32 이미지 입력 패턴이다. 실제 인가한 토날 신호 이외의 주변 잡음 신호가 신호 탐지 준위 이상되어 토날 신호로 많이 탐지되고 있음을 볼 수 있다. 그림 6(c)는 ASM 출력 패턴으로서 주변 잡음이 완전히 제거되고 시뮬레이션 주파수 1,980Hz, 2,100Hz, 2,350Hz 3 개 토날 신호가 정상 탐지되고 있으며, 주파수 2,100Hz, 2,350Hz 는 신호 대역폭을 갖고 나타나고 있다. 그림 6(d)의 경우는 신호 탐지 준위를 1.0 만큼 증가함에 따라 잡음 변화 신호가 적게 탐지되는 반면 대역폭이 작은 1,980Hz 토날 신호도 적게 탐지되어 나타나고 있다. 그 결과 그림 6(e)의 ASM 출력을 보면 주파수가 2,100Hz, 2,350Hz 인 토날 신호 성분만이 탐지되고 있으며, 이는 사전에 학습된 패턴을 복구하기 위한 기준값이 25로 설정함에 기인한다.

그림 7은 변화가 적은 잡음 신호에 토날 신호 3 개를 혼합한 신호 대 잡음 준위가 -12dB 인 복합 신호에 대한 토날 신호 탐지 결과이다. 그림 7(b), (c), (d), (e)를 살펴 보면 신호 탐지 준위가 0.1 과 0.5 크기의 경우 모두 ASM 입력으로 가해 준 토날 신호 3 개가 ASM 출력으로 정상 탐지되고 있으며, 주파수 2,100Hz, 2,350Hz 는 신호 대역폭을 갖고 나타나고 있다. 이상의 결과로 부터 제안된 ASM 신경망을 이용한 토날 신호 탐지 방식은 주변 잡음 변화가 심한 경우에도 잡음 신호가 완전히 제거되므로 신호 탐지 준위를 낮게 설정하여 토날 신호 탐지가 가능함을 보여 주고 있다.

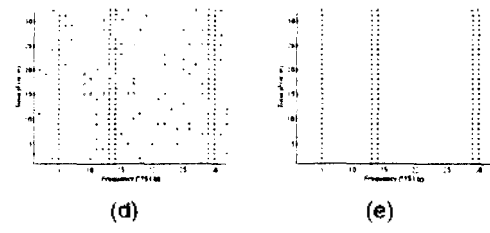
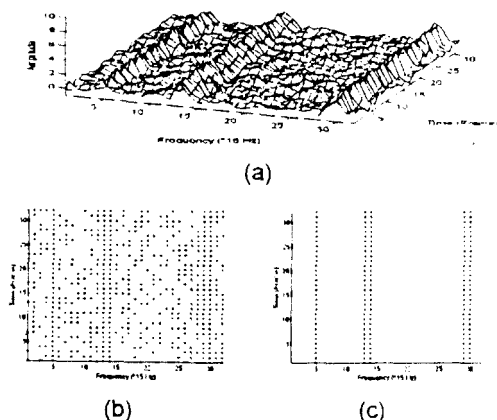


그림 7. 토날 신호 탐지 결과(SNR=-12dB)
 (a)변화가 적은 잡음신호에 토날 3 개가 섞인 복합 신호의 소음규준화된 신호
 (b)ASM 입력 패턴(신호탐지준위 : 0.1)
 (c)ASM 출력 패턴(신호탐지준위 : 0.1)
 (d)ASM 입력 패턴(신호탐지준위 : 0.5)
 (e)ASM 출력 패턴(신호탐지준위 : 0.5)

Fig 7 Result of tonal signal detection (SNR=-12dB)
 (a)noise normalized spectrogram of a mixture of 3 tonal lines and noise is lowly variable
 (b)ASM input pattern(SDT : 0.1)
 (c)ASM output pattern(SDT : 0.1)
 (d)ASM input pattern(SDT : 0.5)
 (e)ASM output pattern(SDT : 0.5)

3.2 표적 신호 적용 시험 및 고찰

해상상태가 2, 수심이 500m 인 해역에서 B&K-8101 하이드로폰을 통해서 거리 약 1,500m 위치에서 녹음된 어선과 상선의 표적 소음에 대해 적용 시험을 수행하였으며, 모의 시뮬레이션과 거의 유사한 결과를 확인하였다. 그림 8은 TPM 으로 소음 규준화된 어선의 스펙트로그램으로 주파수가 35Hz, 120Hz 토날 신호 성분이 미약하게 나타내고 있으나 그림 9는 신호 탐지 준위를 크기가 1로 하여 형성된 ASM 입력 이미지 패턴과 ASM 출력 결과로서 소음 규준화된 스펙트로그램상에서 미약하게 탐지된 토날 주파수 35Hz, 120Hz 성분은 물론 모든 토날 신호 성분이 정상적으로 탐지됨을 볼 수 있다. 그림 10은 상선의 스펙트로그램으로 그림 9와 마찬가지로 소음 규준화된 스펙트로그램상에서 90Hz, 130Hz 토날 주파수 성분이 미약하게 탐지되고 있으나 신호

탐지 준위를 0.5 크기로 낮게 설정하므로써 ASM 출력 결과 모든 토날 신호 성분이 정상적으로 잘 탐지됨을 볼 수 있다.

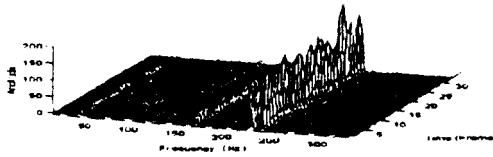


그림 8. 소음규준화된 어선 신호
Fig 8. Fishing boat spectrogram normalized

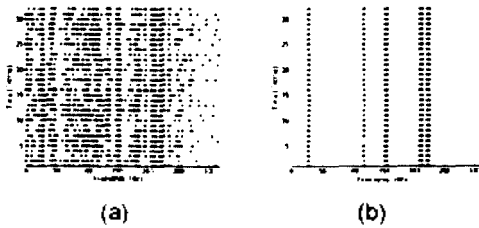


그림 9. 토날 신호 탐지 결과(신호탐지준위 : 1)
(a)ASM 입력 패턴, (b)ASM 출력 패턴
Fig 9. Result of tonal signal detection(SDT : 1)
(a)ASM input pattern, (b)ASM output pattern

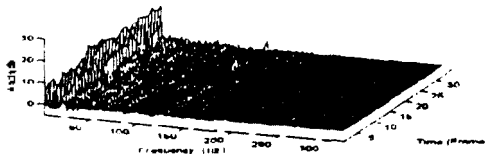


그림 10. 소음규준화된 상선 신호
Fig 10. Merchant ship spectrogram normalized

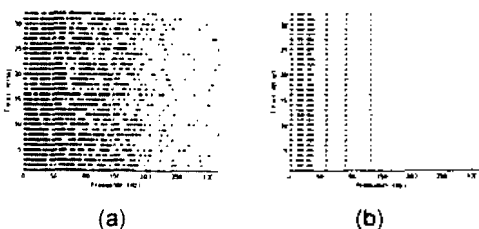


그림 11. 토날 신호 탐지 결과(신호탐지준위 : 0.5)
(a)ASM 입력 패턴, (b)ASM 출력 패턴
Fig 11. Result of tonal signal detection(SDT=0.5)
(a)ASM input pattern, (b)ASM output pattern

V. 결 론

본 논문에서는 수중의 주변잡음과 표적소음이 복합된 환경하에서 표적의 토날 신호성분을 정확히 탐지하기 위하여 ASM 신경망을 이용한 토날 신호 탐지 방식을 제안하였다.

제안된 방식을 이용하여 모의 시뮬레이션 및 실제 표적 신호에 적용한 결과 ASM 신경망에서 잡음 신호가 제거되는 특성을 이용하여 주변 잡음 변화가 심한 경우에도 신호 탐지 준위를 낮게 설정하므로써 정상적으로 토날 신호 탐지가 가능함을 확인하였다. 또한 기존의 규준화된 스펙트로그램상에서 신호 탐지 준위를 설정하여 토날 신호를 탐지하는 경우는 주변 잡음 변화에 상당히 지배되어 잡음 신호가 토날로 잘못 탐지되는 현상이 많이 나타나나 본 논문에서 제안된 방식으로 상당히 잡음 변화를 제거할 수 있었다.

본 연구 결과는 수동 소나 시스템에서 표적 탐지, 식별시 가장 중요 인자인 표적의 토날 신호 탐지에 매우 유용하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Urick, Robert J, "Principles of underwater sound", chapter 10-12, McGraw-Hill, 1975.
2. L. Kuhnle, "Classification and Identification - CAI- by submannes sonars", Vol. 1 VIII, Naval Forces, 1987.
3. Jacek M. Zurada, "Introduction to artificial neural systems", chapter 6, West Publishing Company, 1992.
4. A. Khotanzad, J. H. Lu, and M. D. Srinath, "Target detection using a neural network based passive sonar system", *Int. joint conf. on neural networks*, vol. 1, pp. 335-340, 1989.
5. 김재창, 이성은외 "통계적 처리를 통한 최적 탐지 문턱 필터 구성 연구", NSWD-413-93341, 국방과학연구소, 1993.

6. Richard O. Nielsen, "Sonar signal processing",
chapter 4, Artech House, 1991.
7. 김대수, "신경망 이론과 응용(I)", 제 4 장,
하이테크 정보, 1992.