

자동 연상 기억장치 신경망을 이용한 음향 표적의 신호 주파수선 탐지

Detection of Signal Frequency Lines for Acoustic Target using Autoassociative Memory Neural Network

이 성 은*, 황 수 복*, 남 기 곤**, 김 재 창**

(Sung-Eun Lee*, Soo-Bok Hwang*, Ki-Gon Nam**, Jae-chang Kim**)

요 약

수중 소나 시스템에서 표적을 탐지, 식별하는데 가장 중요한 인자는 표적소음에서 나타나는 신호 주파수선 성분이다. 수중의 주변잡음과 표적소음이 복합된 환경에서 표적의 신호 주파수선 성분을 정확히 추출하는대는 신호 탐지 문턱값 설정이나 주변잡음의 변화 때문에 어려움이 따른다. 이 연구에서는 자동 연상 기억장치 신경망을 이용하여 신호 탐지 문턱값 설정이나 주변잡음의 변화에 강인한 음향 표적의 신호 주파수선 탐지 방식을 제안한다. 모의 실험 및 실제 표적 신호에 적용하여 제안한 방식이 우수한 신호 주파수선 탐지성능을 나타냄을 보인다.

ABSTRACT

Signal frequency lines 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 signal frequency lines depends on signal detection threshold and variation of ambient noise. In this paper, a detection method of signal frequency lines for acoustic targets using autoassociative memory (ASM) 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 detection of signal frequency lines.

I. 서 론

수중 음향센서를 통해서 수신된 수중 소음은 바다의 지리적, 환경적 특성에 따른 주변(ambient) 잡음과 여러 소음원(어선, 상선, 수상함정, 잠수함정, 어뢰등)에서 발생된 소음들이 복합되어 나타난다. 수중 소나 시스템은 이러한 복합 소음으로부터 소음원의 기계장치인 엔진, 프로펠러, 기아 박스 및 보조 기계류 등에서 발생하는 신호 주파수선 성분을 탐지, 분석하여 표적을 식별하게 된다[1, 2]. 기존의 신호 주파수선 탐지 방식은 그림 1과 같이 FFT로 부터 순시 스펙트럼을 형성하고, 평균 스펙트럼을 얻은 뒤 배경(background) 잡음의 평균을 추정한다. 그리고 잡음평균 추정값으로 본래 소음의 스펙트럼으로부터 추정된 평균 배경잡음을 제거하여 표준화된 다음

규준화된 평균 스펙트럼에 적절한 신호 탐지 문턱값을 설정함으로써 탐지 문턱값 이상되는 신호들을 신호 주파수선으로 탐지한다[3]. 그러나 이 방식은 신호 탐지 문턱값 설정에 따라 신호 대 잡음비가 낮은 신호 주파수선 성분이 표적 신호로 탐지되지 않거나 신호 탐지 문턱값 이상되는 주변잡음 변화값이 신호 주파수선으로 잘못 탐지되게 되는 단점이 있다.

자동 연상 기억장치 신경망은 심한 잡음을 가진 불완전한 패턴이나 왜곡된 패턴이 제시되었을 때 주어진 패턴이 무엇인지를 판단하여 본래의 완전한 형태를 유추하는데 널리 사용되고 있다[4, 5].

이 연구에서는 기존의 신호 주파수선 탐지 제한점인 미세한 신호가 표적 신호로 탐지되지 못하거나 주변잡음이 신호 주파수선으로 잘못 탐지되는 문제를 해결하기 위해 자동 연상 기억장치 신경망을 도입하여 표적 소음과 주변잡음이 복합된 상황에선 불완전한 주변잡음 성분을 제거하여 신호 주파수선 성분만을 탐지하는 표적의

* 국방과학연구소 음향대향 체계실

** 부산대학교 전자공학과

접수일자: 1996년 6월 4일

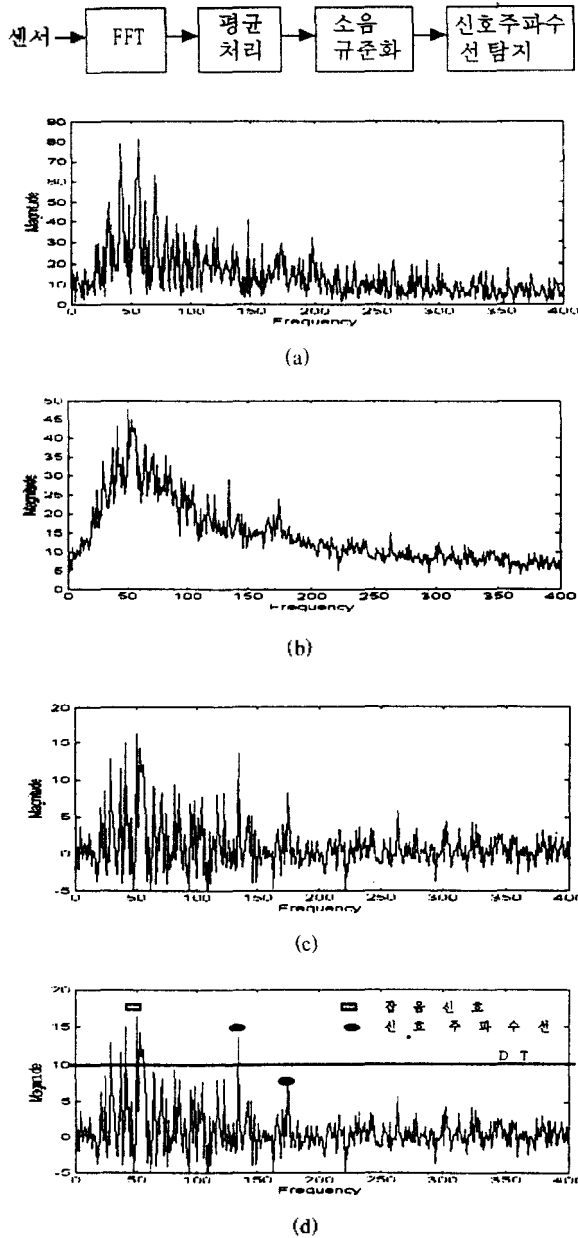


그림 1. 기존의 신호 주파수선 탐지 방법
 (a)순시 스펙트럼, (b)평균 스펙트럼
 (c)소음 규준화, (d)신호 주파수선 탐지
 Fig 1. Classical detection method of signal frequency lines
 (a)instantaneous spectrum, (b)average spectrum
 (c)noise normalization, (d)detection of signal frequency lines

신호 주파수선 탐지 방식을 제안하고, 모의실험 및 실제 표적 신호에 적용하여 여러 다른 주변잡음 환경에서도 신호 주파수선 탐지 성능이 우수함을 보인다.

II. 신호 주파수선 탐지를 위한 신경망 구성

수중 음향센서에 수신된 표적 소음은 주변잡음에 의해

상당히 오염될 수 있으므로 기존의 신호 주파수선 탐지 방식으로 표적의 신호 주파수선 성분을 정확히 탐지하는 데는 어려움이 있다. 이 연구에서 제안된 신호 주파수선 탐지 방식은 그림 2와 같이 기존의 방식에 자동 연상 기억장치 신경망을 도입하였다. 자동 연상 기억장치 신경망에 입력을 위한 전처리 과정으로써 소음 규준화된 스펙트럼 결과에 신호 탐지 문턱값을 설정하여 그 이상되는 주파수 빈 값은 모두 1, 탐지 준위 이하의 주파수 빈은 모두 0으로 할당하여 주파수를 나타내는 행이 F, 시간을 나타내는 열이 T인 2차원 FxT 크기의 디지털 이미지 패턴을 형성한다. 자동 연상 기억장치 신경망의 입·출력 노드 수는 FxT개로 구성되며 이진수 0, 1 값을 입력받아 작동된다.

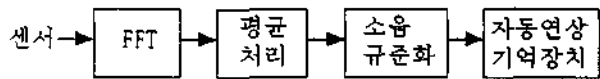


그림 2. 제안된 신호 주파수선 탐지 방식
 Fig 2. Proposed detection method of signal frequency lines

자동 연상 기억장치의 입력 신호 패턴이 소음 규준화된 결과로부터 이진수로 동작되기 때문에 신호가 주변잡음에 의해 상당히 오염될 경우 서로 밀접한 상관 관계를 가질 수 있을 뿐만 아니라 신호 주파수선이 FxT 크기의 입력 디지털 이미지 패턴내에 여러개가 존재할 수 있어 많은 학습 패턴이 필요하다. 이런 경우 홉필드 연상 기억장치는 다음의 두가지 한계로 말미암아 적용하기 어렵다. 첫째는 저장되어 있는 패턴의 수와 정확히 연상될 수 있는 수가 매우 제한적일 수 있다. 즉, 너무 많은 패턴을 저장하고 있으면 수렴할 때 잘못된 패턴으로 인식할 수 있다. 둘째는 학습 패턴이 다른 패턴과 유사하여 많은 비트들을 공유한다면 네트워크가 불안정해진다[4, 5]. 따라서 이 연구에서 적용된 신경망은 홉필드 연상 기억장치와 유사한 순환 구조로 구성되지만 다른 학습 및 실행 알고리즘에 의해 수행되는 동기식 방식으로 그 구성은 그림 3과 같다[6].

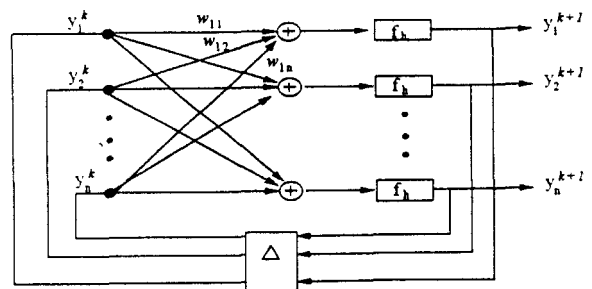


그림 3. 적용된 자동 연상 기억장치 신경망 구성
 Fig 3. Configuration of applied ASM neural network

자동 연상 기억장치 신경망 학습시 뉴런 i과 뉴런 j 사이의 연결강도는

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

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

- ① $w_{ij} = w_{ji}$
 - ② w_{ij} 는 0 또는 1의 값을 가진다.
 - ③ 노드 i와 j는 학습 패턴 가운데서 적어도 하나 i번째와 j번째 노드가 1이 되는 경우에만 연결된다.
- 자동 연상 기억장치의 연결강도를 학습시킨 뒤에 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.

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

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 탐지 준위로써 사전에 학습된 패턴을 복구하기 위한 기준값이 되며 25로 설정하였

다. 상기 자동 연상 기억장치 신경망의 실행은 단지 ② 단계가 두번 반복된다.

이 연구에서 적용한 자동 연상 기억장치의 학습패턴은 주파수와 시간을 나타내는 32x32 이진수(0, 1) 이미지로 구성된 32개의 패턴을 사용하였으며, 그림 4에 주파수 번이 2, 4, 16, 20, 28, 32번째에 존재하는 6가지 패턴을 나타내었다.

III. 실험 및 고찰

3.1 모의 실험 및 고찰

실험을 위하여 모의 표적 신호로 크기가 6, 중심 주파수가 1,980Hz 대역폭이 1Hz, 2,100Hz 대역폭이 14Hz, 2,350Hz 대역폭이 12Hz인 신호 주파수선 3개에 평균이 0인 백색 정규 잡음을 신호 대 잡음비가 -15dB, -12dB 되도록 σ^2 을 첨가하여 15.36KHz로 표본화하여 신호를 만들었다.

FFT는 1K-point 처리를 수행하였고 평균 처리는 N=8의 선형 평균 방식을 사용하였으며 소음 규준화는 TPM (Two-Pass Mean) 방식으로 극부창 길이는 21 빈, 극부 탐지 문턱값은 1차 평균값에 1.2배로 설정하였다[3]. 모의 표준 신호로 실험을 위한 신호 주파수 범위가 1,920Hz-2,400Hz까지에 대해 신호 대 잡음비가 각각 -15dB, -12dB인 잡음 신호 및 신호 주파수선의 선형평균 처리된 스펙트럼은 그림 5와 같다.

그림 5(a)의 변화가 심한 잡음 잡음 신호에 신호 주파수선 3개를 혼합한 신호대 잡음 준위가 -15dB인 복합 신호에 대한 주파수선 탐지 결과를 그림 6에 나타내었다.

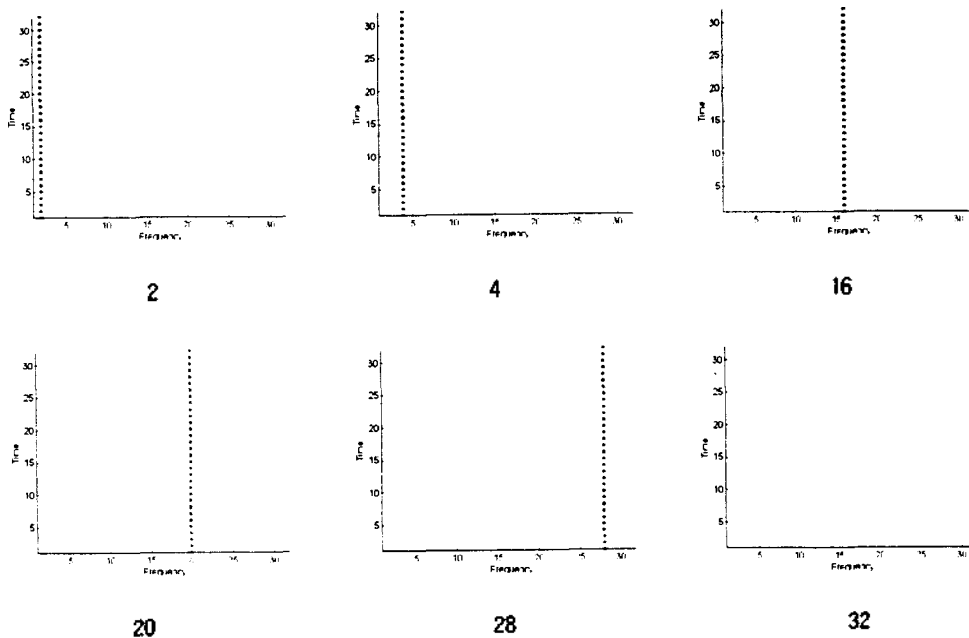


그림 4. 자동 연상 기억장치 신경망의 학습 패턴 이미지
Fig 4. Image patterns for training ASM neural network

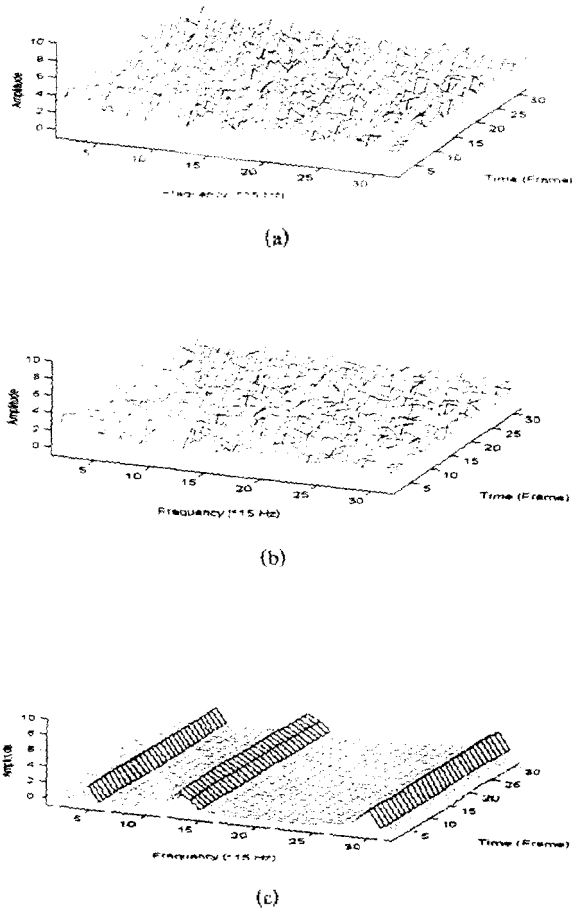
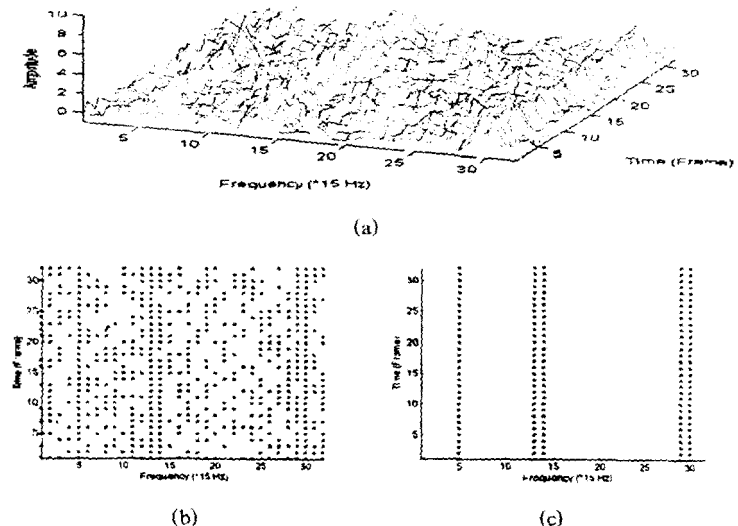


그림 5. 모의 실험을 위한 표준 신호
 (a) 변화가 심한 잡음 신호
 (b) 변화가 적은 잡음 신호
 (c) 신호 주파수선의 3개인 신호

Fig 5. Standard signals for experiment
 (a) noise is highly variable
 (b) noise is lowly variable
 (c) signal of 3 frequency lines

그림 6(a)는 복합 신호에 대해 TPM 소음 규준화된 신호이며, 그림 6(b)는 소음 규준화된 평균 신호 준위에 신호 탐지 문턱값이 0.1만큼 크게 설정하여 그 이상되는 신호는 1, 신호 탐지 문턱값 이하의 신호는 0으로 한 자동 연상 기억장치 신경망의 32x32 이미지 입력 패턴이다. 실제 인가한 신호 주파수선 이외의 주변 잡음 신호가 신호 탐지 문턱값 이상되는 신호 주파수선으로 많이 탐지되고 있음을 볼 수 있다. 그림 6(c)는 신경망 출력 패턴으로서 주변 잡음이 완전히 제거되고 주파수 1,980Hz, 2,100Hz, 2,350Hz 3개 신호 주파수선이 정상 탐지되고 있으며, 주파수 2,100Hz, 2,350Hz는 신호 대역폭을 갖고 나타나고 있다. 그림 6(d)의 경우는 신호 탐지 문턱값을 1.0만큼 증가함에 따라 잡음 변화 신호가 적게 탐지되는 반면 대역폭이 작은 1,980Hz 신호 주파수선도 적게 탐지되어 나타나고 있다. 그 결과 그림 6(e)의 신경망 출력을 보면 주파수가 2,100Hz, 2,350Hz인 신호 주파수선 성분만이 탐지되고 있으며, 이는 사전에 학습된 패턴을 복구하기 위한 기준값이 25로 설정함에 기인한다.

그림 7은 변화가 적은 잡음 신호에 신호 주파수선 3개를 혼합한 신호 대잡음 준위가 -12dB인 복합 신호에 대한 신호 주파수선 탐지 결과이다. 그림 7(b), (c), (d), (e)를 살펴 보면 신호 탐지 문턱값이 0.1과 0.5 크기의 경우 모두 자동 연상 기억장치 신경망의 입력으로 가해진 신호 주파수선 3개가 신경망 출력으로 정상 탐지되고 있으며, 주파수 2,100Hz, 2,350Hz는 대역폭을 갖고 나타나고 있다. 이상의 결과로부터 제안된 자동 연상 기억장치 신경망을 이용한 신호 주파수선 탐지 방식은 주변 잡음 변화가 심한 경우에도 잡음 신호가 완전히 제거되므로 신호 탐지 문턱값을 낮게 설정하여 신호 주파수선 탐지가 가능함을 보여주고 있다.



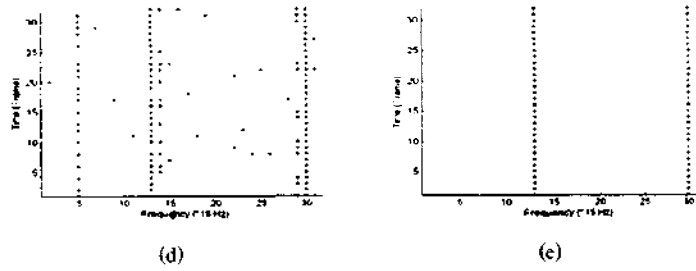


그림 6. 신호 주파수선 탐지 결과(SNR = -15dB)
 (a) 변화가 심한 잡음신호에 신호 주파수선 3개가 섞인 복합 신호의 소음규준화된 신호
 (b) 신경망 입력 패턴(탐지 문턱값:0.1)
 (c) 신경망 출력 패턴(탐지 문턱값:0.1)
 (d) 신경망 입력 패턴(탐지 문턱값:1.0)
 (e) 신경망 출력 패턴(탐지 문턱값:1.0)

Fig 6. Result of signal frequency lines detection(SNR = -15dB)
 (a) noise normalized spectrogram of a mixture of 3 frequency lines and noise is highly variable
 (b) ASM input pattern(detection threshold:0.1)
 (c) ASM output pattern(detection threshold:0.1)
 (d) ASM input pattern(detection threshold:1.0)
 (e) ASM output pattern(pattern(detection threshold:1.0)

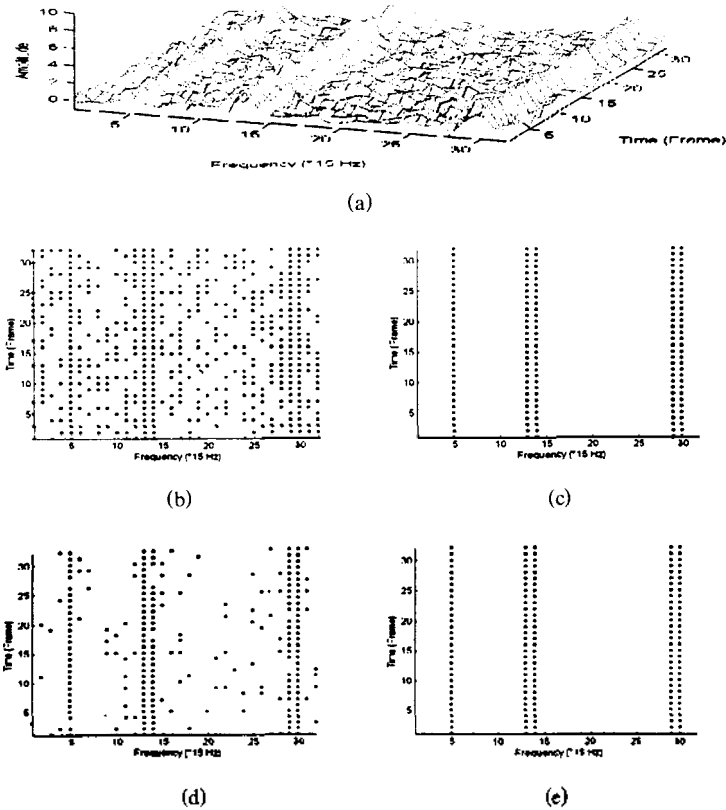


그림 7. 신호 주파수선 탐지 결과(SNR = -12dB)
 (a) 변화가 적은 잡음신호에 신호 주파수선 3개가 섞인 복합 신호의 소음규준화된 신호
 (b) 신경망 입력 패턴(탐지 문턱값:0.1)
 (c) 신경망 출력 패턴(탐지 문턱값:0.1)
 (d) 신경망 입력 패턴(탐지 문턱값:0.5)
 (e) 신경망 출력 패턴(탐지 문턱값:0.5)

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

3.2 표적 신호 적용 시험 및 고찰

바다의 해상상태가 2, 수심이 500m인 해역에서 B&K-8 101 하이드로폰을 통해서 거리 약 1,500m 위치에서 녹음된 어선과 상선의 표적 소음에 대해 적용 시험을 수행하였으며, 모의 실험과 거의 비슷한 결과를 확인하였다. 그림 8은 TPM으로 소음 규준화된 어선의 스펙트로그램으로 주파수가 35Hz, 120Hz 신호 주파수선 성분이 미약하게 나타내고 있으나 그림 9는 신호 탐지 문턱값을 크기가 1로 하여 형성된 자동 연상 기억장치 신경망의 입력 이미지 패턴과 출력 결과로서 소음 규준화된 스펙트로그램상에서 미약하게 탐지된 신호 주파수 35Hz, 120Hz 성분은 물론 모든 신호 주파수선 성분이 정상적으로 탐지됨을 볼 수 있다. 그림 10은 상선의 스펙트로그램으로 그림 9와 마찬가지로 소음 규준화된 스펙트로그램상에서 90Hz, 130Hz 신호 주파수 성분이 미약하게 탐지되고 있으나 신호 탐지 문턱값을 0.5크기로 낮게 설정함으로써 신경망 출력 결과 모든 신호 주파수선 성분이 정상적으로 잘 탐지됨을 볼 수 있다.

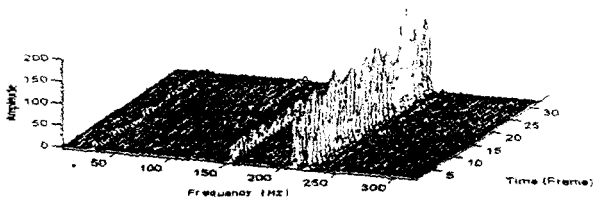


그림 8. 소음규준화된 어선 신호
 Fig 8. Fishing boat spectrogram normalized

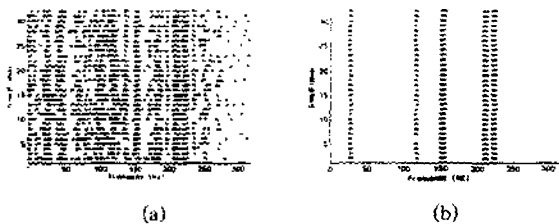


그림 9. 신호 주파수선 탐지 결과(탐지 문턱값:1)
 (a) 신경망 입력 패턴, (b) 신경망 출력 패턴
 Fig 9. Result of signal frequency lines detection(detection threshold:1)
 (a) ASM input pattern, (b) ASM output pattern

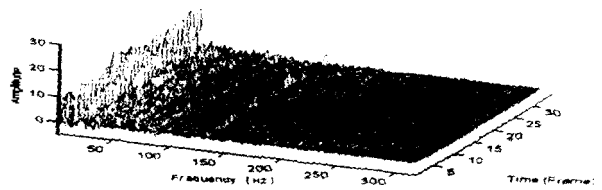


그림 10. 소음규준화된 상선 신호
 Fig 10. Merchant ship spectrogram normalized

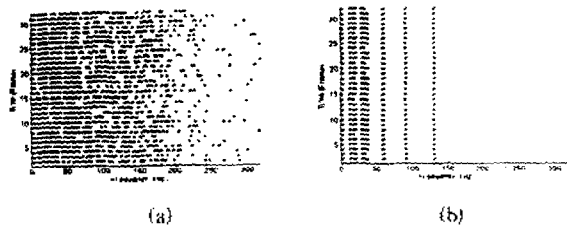


그림 11. 신호 주파수선 탐지 결과(탐지 문턱값:0.5)
 (a) 신경망 입력 패턴, (b) 신경망 출력 패턴
 Fig 11. Result of signal frequency lines detection(detection threshold:0.5)
 (a) ASM input pattern, (b) ASM output pattern

IV. 결 론

이 연구에서는 수중의 주변잡음과 표적소음이 복합된 환경에서 표적의 신호 주파수선 성분을 정확히 탐지하기 위하여 자동 연상 기억장치 신경망을 이용한 신호 주파수선 탐지 방식을 제안하였다.

제안된 방식을 이용하여 모의 실험 및 실제 표적 신호에 적용한 결과 자동 연상 기억장치 신경망에서 잡음 신호가 제거되는 특성을 이용하여 주변 잡음 변화가 심한 경우에도 신호 탐지 문턱값을 낮게 설정함으로써 정상적으로 신호 주파수선 탐지가 가능함을 확인하였다. 또한 기존의 규준화된 스펙트로그램상에서 신호 탐지 문턱값을 설정하여 신호 주파수선을 탐지하는 경우는 주변 잡음 변화에 상당히 지배되어 잡음 신호가 신호 주파수선으로 잘못 탐지되는 현상이 많이 나타나 이 연구에서 제안된 방식으로 상당히 잡음 변화를 제거할 수 있었다.

이 연구 결과는 수동 소나 시스템에서 표적의 탐지, 식별시 가장 중요한 인자인 표적의 신호 주파수선 탐지에 매우 유용하게 적용할 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, McGraw-Hill, 1975, Chapters 10-12.
2. L. Kuhnle, "Classification and Identification-CAI-by Submarines Sonars," *Naval Forces*, Vol. 1, pp. 22-27, Nov

1987.

- 3. 김재창, 이성은의 통계적 처리를 통한 최적 탐지 문턱 필터 구성 연구, 국방과학연구소, 1993.
- 4. J. M. Zurada, *Introduction to Artificial Neural Systems*, West Publishing Company, 1992, Chapter 6.
- 5. 김대수, 신경망 이론과 응용(I), 하이테크 정보, 1992, 제4장.
- 6. A. Kholanzad, 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, Washington D.C., 1989.
- 7. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, 1991, Chapter 4.

▲이 성 은

1990년 2월 28일 한국음향학회지 9권 1호 참조

▲황 수 복

1963년 9월 25일생



1985년 2월: 한양대학교 전자공학과
(공학사)
1995년 8월: 부산대학교 전자공학과
(석사)
1990년 9월~현재: 국방과학연구소
선임연구원

▲남 기 곤

1955년 5월 1일생

1977년 2월: 부산대학교 전자공학과(공학사)
1981년 8월: 부산대학교 전자공학과(석사)
1988년 2월: 부산대학교 전자공학과(박사)
1990년 3월~현재: 부산대학교 전자공학과 부교수

▲김 재 창

1946년 2월 28일생

1969년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)
1974년 2월: 부산대학교 전자공학과(석사)
1979년 8월: 미국 Alabama 대학교 전기공학(석사)
1981년 8월: 미국 Alabama 대학교 전기공학(박사)
1974년 3월~현재: 부산대학교 전자공학과 교수