

능동 소나 환경에서 일정 오경보 확률 탐지기 성능의 실험적 고찰

Experimental Results of Performance of CFAR Detectors in Active Sonar Environment

이 구 성*, 김 기 만**, 박 상 택***, 이 충 용*, 윤 대 회*

(Gu Sung Lee*, Ki Man Kim**, Sang Taick Park***, Chung Yong Lee*, Dae Hee Youn*)

※ 본 연구는 수중음향 특화연구센터의 지원으로 이루어졌습니다(UA-22)

요 약

이 논문에서는 능동 소나 환경에서 선형 주파수 변조와 CW(Continuous Wave) 신호의 특성을 고찰하였다. 이를 위해 대표적인 일정 오경보 확률(Constant False Alarm Rate) 처리 기법인 셀 평균(Cell Averaging), 순서통계(Order Statistics), TM(Trimmed Mean) 기법을 이용하여 거리/도플러 영역에서 표적 존재 유무를 판단하고, 이 결과를 이용하여 탐지 성능에 영향을 미치는 요소들을 분석하였다. 특별히, 실측 데이터를 이용한 실험에서 기존 일정 오경보 확률 처리기의 성능이 실제 능동 소나 환경에서도 이론과 같은 결과를 나타냄을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of LFM and CW signals in active sonar environment is investigated. CA, OS and TM CFAR processors are applied to the received CW/LFM signals which are plotted in the range/doppler domain. The performances of detection are analyzed. Particularly, using the real data, we certified that the results of the experiments are identical with the theoretical performance.

I. 서 론

수중환경에서 능동 소나를 운용할 때 표적에 반사되어 수신된 신호에는 표적신호외의 주위 잡음과 잔향 잡음이 포함되어 있다 [1]. 주위 잡음과 잔향 잡음 전력의 경우 통계적 분포를 나타내는 모든 매개변수를 알 수 없고, 잡음의 정상성이 유지되지 않으므로 고정된 탐지 문턱값을 수신된 신호에 적용하여 표적 탐지 유무를 판단함은 오경보 확률을 일정한 수준 이하로 유지해야 하는 네이만-피어슨 설계 기준을 충족시킬 수 없게 된다. 따라서, 이런 경우에는 잡음 전력을 국부적으로 추정하고 탐지 문턱값을 기변적으로 계산하여 주위잡음과 잔향 잡음의 영향을 배제할 수 있는 일정 오경보 확률 처리 방법을 적용해야 한다.

일정 오경보 확률 탐지기의 대표적인 보기는 잡음의 특성이 균질인 경우 최적의 성능을 나타내는 셀 평균 방법이다. 그러나, 셀 평균 방법은 잡음의 특성이 균질이

아닌 경우 탐지 문턱값을 정확하게 추정하지 못하므로 오경보 확률을 일정하게 유지하지 못하거나, 불필요하게 탐지 문턱값을 높게 설정하여 표적을 탐지하지 못하는 경우가 발생한다. 이와 같은 셀 평균 방법의 문제점을 해결하기 위해 순서통계, TM(Trimmed Mean) 탐지기가 제안되었다 [2-10]. 그 동안 일정 오경보 확률을 갖도록 하는 탐지기 문제는 주로 레이다 환경에서 다루어져 왔으며 수중 환경에서의 실험 결과는 미미한 실정이다.

이 논문에서는 대표적인 일정 오경보 확률 프로세서인 셀 평균, 순서통계, TM 방법을 수신된 CW, 선형 주파수 변조 신호에 적용하여 실제 능동 소나 환경에서 표적 탐지 성능에 영향을 미치는 요소들을 분석하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 능동 소나 환경에서 CW, 선형 주파수 변조 신호를 시스템에 적용할 때 적합한 신호를 선택하는 판단의 근거를 제시하고자 한다.

II. 일정한 오경보 확률을 갖는 탐지기의 종류

2.1 네이만-피어슨 탐지기

능동 소나에 수신되는 신호는 다음과 같다고 가정한다.

* 연세대학교 기계·전자공학부

** 한국해양대학교 전파공학과

*** 전자통신연구원 이동교환연구실

접수일자: 1998년 9월 12일

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & ; \text{표적 신호가 존재하지 않는 경우}(H_0) \\ s(t) + n(t) & ; \text{표적 신호가 존재하는 경우}(H_1) \end{cases} \quad (1)$$

이때, 잡음 $n(t)$ 는 평균이 0인 정상상태의 백색 정규 잡음이다. 제곱 포락선 탐지기의 출력 z 의 확률밀도 함수는 식(2)와 같다.

$$f(z) = \frac{1}{2\lambda} \exp\left[-\frac{z}{2\lambda}\right] \quad (2)$$

λ 는 표적의 존재여부에 따라 주어진다. 이때, 이 분포 함수의 매개변수 λ 는 표적의 존재여부에 따라 식 (3)과 같이 표시된다.

$$\lambda = \begin{cases} \sigma^2 & ; \text{표적이 존재하지 않을 때} \\ \sigma^2(1 + \overline{SNR}) & ; \text{표적이 존재할 때} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, \overline{SNR} 는 신호 대 잡음비이고, 제곱 포락선 탐지기의 출력이 식(2)와 (3)을 만족시키는 경우, 오경보 확률 P_{FA} 는 탐지 문턱값이 Z_T 라고 할 때 식 (4)와 같다.

$$P_{FA} = P[z \geq Z_T / H_0] = \exp\left[-\frac{Z_T}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

σ^2 는 표적 신호가 존재하지 않을 경우의 잡음 전력을 의미하며, 역으로 탐지 문턱값 Z_T 를 P_{FA} 와 σ^2 으로 표시하면 식 (5)와 같다.

$$Z_T = -2\sigma^2 \ln P_{FA} = -E[Z/H_0] \ln P_{FA} \quad (5)$$

위와 같이 탐지 문턱값 Z_T 는 요구되는 오경보 확률과 잡음 평균 크기의 함수가 된다. 잡음의 정상성이 유지되고, 그 평균 크기가 알려져 있다면, 탐지 문턱값은 식(5)로부터 사전에 결정될 수 있다. 그러나 많은 경우 잡음의 정상성이 유지되지 않고 그 평균 크기를 알 수 없다. 이러한 경우 고정된 탐지 문턱값을 사용하게 되면, 네이만-피어슨 설계 기준을 충족시킬 수 없게 된다. 일정한 오경보 확률을 갖도록 하는 탐지기는 이와 같이 잡음의 정상성이 보장되지 않는 경우 식(5)에서 $E[Z/H_0]$ 를 국부적으로 추정하고, 이 추정치로부터 탐지 문턱값 Z_T 를 가변적으로 결정함으로써 오경보 확률을 일정하게 유지하는 탐지기이다.

그림 1에 일반적인 일정 오경보 확률 탐지기의 구조를 나타내었다. 일정 오경보 확률 탐지기의 대표적인 예는 잡음의 전력을 표본들의 평균으로 추정하는 셀 평균 방법이다. 대역 통과와 정규화된 제곱 포락선 탐지기의 출력은 z 라 할 때 셀 평균 방법은 N 개의 셀로 잡음 전력 β^2 을 추정하며 탐지 문턱값 Z_T 는 식(6)과 같다.

2.2 일정 오경보 확률 탐지기

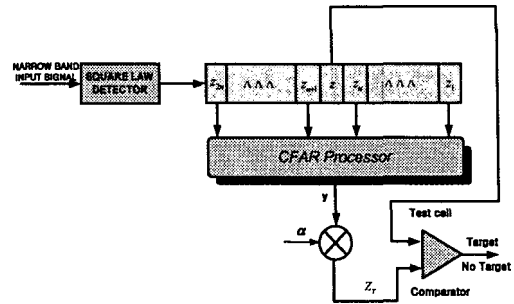


그림 1. 일반적인 일정 오경보 확률 탐지기의 구조
Fig. 1. Structure of CFAR processors.

$$Z_T = \alpha \beta^2 = \alpha \frac{\sum_{k=0}^{N-1} z_k}{N} \quad (6)$$

α 는 잡음 전력을 정규화했을 때 P_{FA} 설정을 위한 값이다. Z_T 는 확률 변수이므로 검출 확률 P_D 는 식(7)과 같다[2].

$$P_D = \int_0^\infty P_D(z > Z_T / Z_T = \alpha \frac{y}{N}) f(y) dy = \left(1 + \frac{\alpha}{N(1 + \overline{SNR})}\right)^{-N} \quad (7)$$

여기서, $\overline{SNR} = \frac{A_0^2}{\beta^2}$ 이고 A_0 는 신호의 가장 큰 진폭이다. 창을 크기를 증가시키면 검출 확률과 오경보 확률이 고정 문턱값으로 검출할 때와 같아진다.

순서통계 방법은 잔향 잡음과 다중 표적 상황에 의한 영향을 줄이기 위해 제안되었으며 창내의 모든 값을 순서대로 나열하여 k 번째 값을 잡음 전력으로 사용하는데 두 상황에 대해 비교적 낮은 손실을 가지고 성능을 유지한다. 이는 N 개의 셀을 순서대로 나열하고, 잡음 전력은 k 번째 값 z_k 로써 추정한다. 따라서 탐지 문턱값은

$$Z_T = \alpha \beta^2 = \alpha z_k \quad (8)$$

이며, 오경보 확률은 식 (9)와 같다.

$$P_{FA} = \int_0^\infty f(z_k) P(z_k > Z_T / Z_T) dz_k = k \binom{N}{k} \frac{\Gamma(\alpha + N - k + 1) \Gamma(k)}{\Gamma(\alpha + N + 1)} \quad (9)$$

이때, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수이다.

TM 방법은 순서통계 방법의 수정된 형태이며, 앞에서 언급했듯이 윈도우를 크기에 따라 배열한 N 개의 셀 중에서 크기가 작은 부분의 $T1$ 개의 셀과 큰 부분의 $T2$ 개의

셀을 제거한 뒤 남은 셀의 합을 이용하여 잡음 전력을 추정하는 탐지기이다.

III. 실험 및 결과 고찰

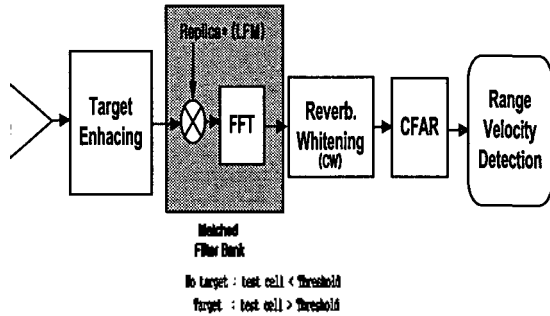


그림 2. 표적 탐지 구성도
Fig. 2. Flow diagram for target detection.

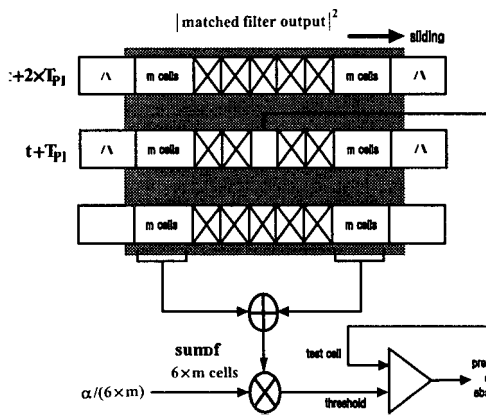
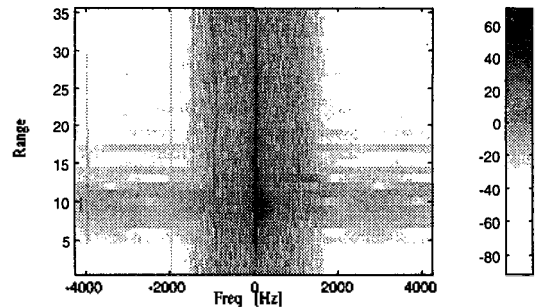


그림 3. 2차원 셀 평균 일정 오경보 확률 검출기의 구조
Fig. 3. Structure of 2-dimensional CA CFAR detector.

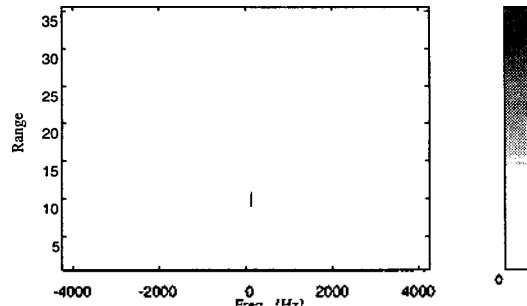
이 장에서는 II장에서 설명된 대표적인 일정 오경보 확률 탐지기가 수중환경에서 신호의 종류에 따라 어떠한 성능을 나타내는지 고찰하기 위해 실험을 수행하였다. 그림 2는 수신된 신호에 표적 신호가 존재하는지를 판단하기 위해 적용적으로 잡음의 전력을 추정, 탐지 문턱값을 정하여 표적 신호를 탐지하기 위한 표적 탐지 구성도이다. 수신된 신호는 대역 통과 필터를 거쳐 백색 잡음 환경에서 높은 검출 확률을 갖도록 설계된 최적 검출기인 정합 필터(산형 주파수 변조 신호의 경우)를 통과한 후 앞에서 언급한 일정한 오경보 확률을 갖도록 하는 처리를 실시하였다. FFT처리는 각 신호의 펄스 폭을 고려하여 실시하였으며, FFT처리 전 각 신호의 펄스 폭을 고려하여 해밍 윈도우를 적용하였다. 사용된 신호는 CW와 산형 주파수 변조 신호에 대하여 ping의 길이가 각각 긴, 중간, 짧은 펄스를 이용하였다. 일정 오경보 확률 처리할 때에는 기본적으로 거리/도플러 영역에서 9×7 크기의 창을 기본으로 하였으며, 검사 셀에 표적이 존재할 시 인

접 셀에 영향을 미침으로써 정확한 탐지 문턱값의 설정이 방해되는 것을 방지하기 위해 검사 셀 주변의 8개의 셀을 제외한 54개의 셀을 이용하여 탐지 문턱값을 설정하였다. 이렇게 설정된 탐지 문턱값을 검사 셀과 비교하여 표적의 존재 유무를 판단하였다. 신호의 종류와 특성에 따라 일정 오경보 확률 탐지기의 성능을 비교 분석하기 위해 일정 오경보 확률에 따른 신호 대 잡음비와 탐지 확률을 이용하였으며, 그림 3과 같은 구조의 2차원 일정 오경보 확률 처리를 실행하였다. 여기서 T_{PI} 는 FFT 처리를 행하는 신호 처리 간격을 의미한다.

실험 데이터는 배에 능동 소나를 장치하여 표적의 다양한 움직임에 따른 수신된 신호를 이용하였다. 이때, 배의 자체 소음은 가능한 한 배제하였고, 실험 시 해상 상태는 양호한 상태였으며 인근에 기타 선박들은 실험에 영향을 미치지 않도록 하기 위해 노력하여 실험 환경이 가능한 균일한 특성에 가깝도록 하였다.

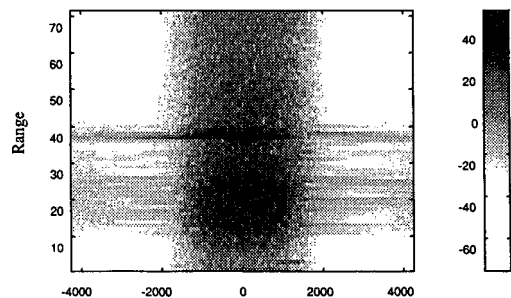


(a) 탐지기 출력

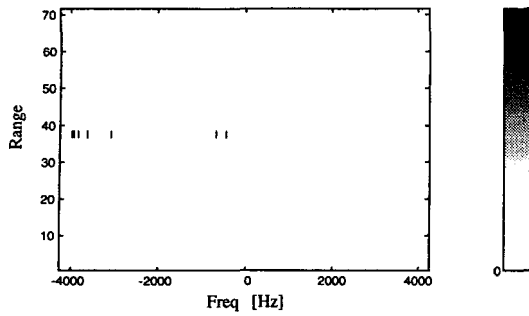


(b) 탐지 결과

그림 4. CW 신호에 대한 셀 평균 일정 오경보 확률 적용 결과
Fig. 4. Results of CA CFAR of CW signal.



(a) 탐지기 출력



(b) 탐지 결과

그림 5. 선형 주파수 변조 신호에 대한 셀 평균 일정 오경보 확률 적용 결과

Fig. 5. Results of CA CFAR of LFM signal.

그림 4는 CW 긴 펄스의 수신된 신호를 자승 포락선 탐지기를 통과한 후 FFT 처리를 실시한 결과를 거리/도플러 영역에 나타낸 그림이다. 그림을 보면 중심 주파수를 중심으로 잔향 잡음이 집중적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 FFT 처리한 후 오경보 확률 10^{-5} , 윈도우 크기를 거리와 주파수축으로 각각 9×7 하여, 셀 평균 일정 오경보 확률 처리를 실시한 결과이다. 표적의 정보가 허위 표적이 나타남이 없이 비교적 정확하게 나타나고 있다.

그림 5(a)는 수신된 선형 주파수 변조 중간 펄스 신호를 처리한 결과를 나타내었으며, 그림에서 볼 수 있듯이 거리축으로는 어느 정도 표적 정보에 대한 예측이 가능하나 주파수 축으로는 정확한 예측이 어려움을 보이고 있다. 그림 5(b)는 위 데이터를 일정 오경보 확률을 10^{-7} 하고 거리/도플러 영역에서 윈도우 크기를 9×7 하여 셀 평균 일정 오경보 확률 처리를 실시한 결과이다. 표 1은 선형 주파수 변조 중간 펄스에 셀 평균, 순서통계 일정 오경보 확률 적용할 경우 윈도우 형태에 따른 성능 비교이다.

표 1. 윈도우 형태에 따른 선형 주파수 변조 중간 펄스 성능 비교

Table 1. Performance comparison of LFM medium pulse.

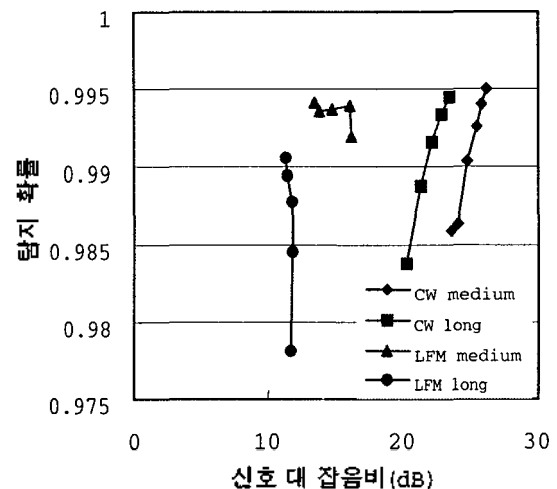
| 윈도우 형태 (거리×도플러) | 일정 오경보 확률 | 신호 대 잡음비 (dB) | 탐지확률 |
|-----------------|-----------|---------------|--------|
| 9×7 | 10-7 | 16.1938 | 0.9919 |
| 9×9 | " | 16.0480 | 0.9939 |
| 9×11 | " | 14.7848 | 0.9937 |
| 9×13 | " | 13.7844 | 0.9936 |
| 9×15 | " | 13.4262 | 0.9941 |
| 7×9 | " | 14.8901 | 0.9891 |
| 11×9 | " | 16.8649 | 0.996 |
| 13×9 | " | 17.5428 | 0.9972 |
| 15×9 | " | 18.0264 | 0.9979 |

(a) 셀 평균 일정 오경보 확률

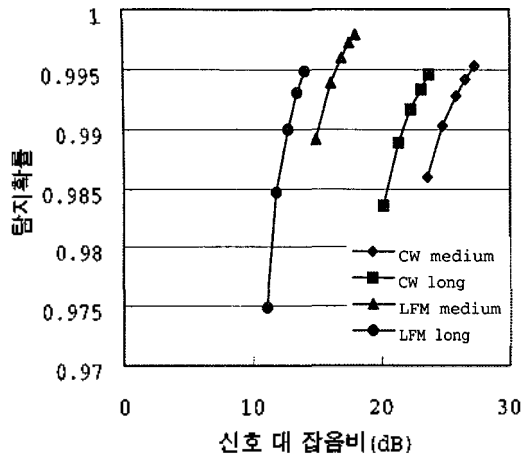
| Selected Cell | 일정 오경보 확률 | 신호 대 잡음비 (dB) | 탐지확률 |
|---------------|-----------|---------------|--------|
| 35th/54 | 10-7 | 23.8613 | 0.9185 |
| 37th/54 | " | 22.7229 | 0.8966 |
| 39th/54 | " | 21.7239 | 0.8728 |
| 41th/54 | " | 21.7185 | 0.8734 |
| 43th/54 | " | 20.5521 | 0.8388 |
| 45th/54 | " | 18.2300 | 0.7429 |

(b) 순서통계 일정 오경보 확률

그림 6은 수신된 여러 신호에 셀 평균 일정 오경보 확률 적용 시 윈도우 형태에 따른 성능을 비교한 그림이다. 그림 6(a)는 거리축으로는 셀의 크기를 9로 고정한 상태에서 주파수 축의 셀 크기 변화에 따른 신호 대 잡음비와 탐지 확률을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 CW신호는 주파수 셀의 크기 변화에 따라 신호 대 잡음비가 증가하고 이에 따라 탐지 확률도 증가함을 확인할 수 있다. 그러나, 선형 주파수 변조 신호는 CW 신호에 비해 낮은 신호대 잡음비에서도 높은 탐지 확률을 갖는 장점을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 주파수 축으로는 셀의 크기를 9로 고정한 상태에서 거리 축의 셀 크기 변화에 따른 성능을 비교한 그림이다. CW, 선형 주파수 변조 신호 양쪽 모두 셀의 증가가 신호 대 잡음비와 탐지 확률 증가로 나타남을 확인할 수 있다. 따라서, 수신된 신호에 셀 평균 일정 오경보 확률 적용 시 거리축의 크기 변화는 신호 대 잡음비와 탐지 확률에 주파수 축의 변화보다 많은 영향을 미침을 확인할 수 있었다.



(a) 주파수축 셀 크기에 따른 변화

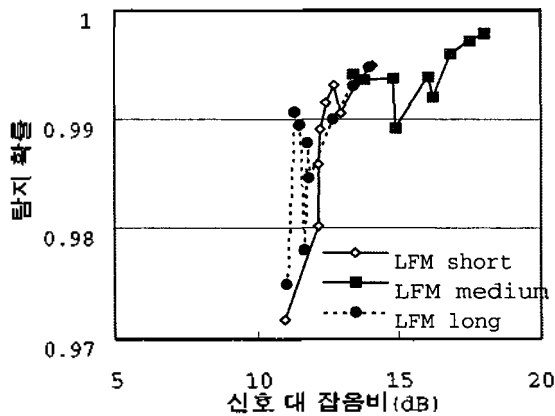


(b) 거리 축 셀 크기에 따른 변화

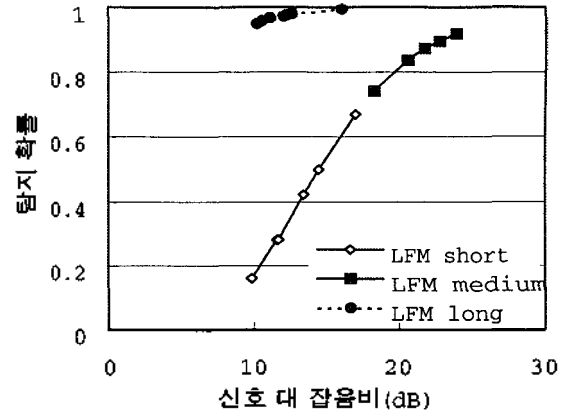
그림 6. 윈도우 형태에 따른 셀 평균 일정 오경보 확률 성능 비교

Fig. 6. Performance Comparison according to window size of CA CFAR.

그림 7은 능동 소나 환경에서 수신된 선형 주파수 변조 신호에 셀 평균 및 순서통계 일정 오경보 확률 적용할 경우 나타나는 특성을 비교한 그림이다. (a)는 일정 오경보 확률을 10-7로 고정하고, 셀 평균 일정 오경보 확률 적용하는 경우 윈도우 크기를 증가함에 따른 신호 대 잡음비와 탐지확률의 변화를 살펴본 것으로 탐지확률의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. (b)의 경우는 동일 조건에서 순서통계 일정 오경보 확률을 적용한 결과이며, 결과에서 볼 수 있듯이 잡음 전력을 결정하기 위한 셀의 선택에 따라 탐지확률과 신호 대 잡음비의 변화가 뚜렷하다. 따라서, 주변 환경에 대한 정확한 이해와 체계적인 정보 수집으로 탐지 문턱값 선정을 위해 합리적으로 셀을 선택하는 것이 매우 중요하다.



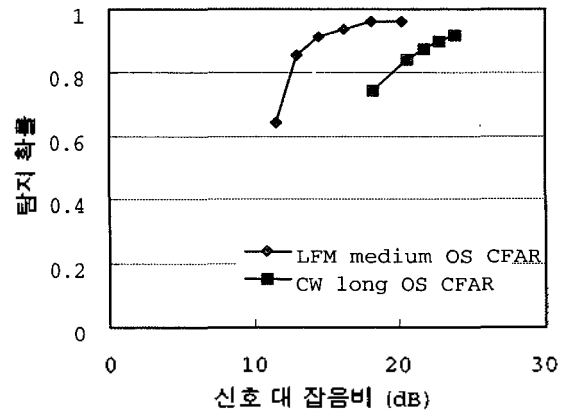
(a) 셀 평균 일정 오경보 확률



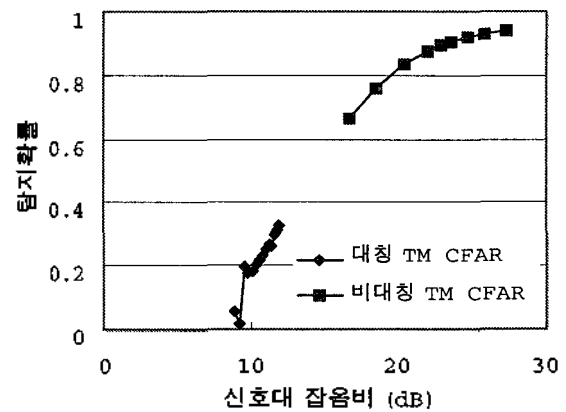
(b) 순서통계 일정 오경보 확률

그림 7. 선형 주파수 변조 신호의 성능 비교

Fig. 7. Performance Comparison of LFM signals.



(a) 순서통계 일정 오경보 확률



(b) TM 일정 오경보 확률 (선형 주파수 변조 짧은 신호)

그림 8. 순서통계/TM 일정 오경보 확률 성능 비교
Fig. 8. Performance Comparison of OS/TM CFAR.

표 2. TM 탐지기의 성능 비교

Table 2. Performance comparison of TM CFAR.

| Trimmed Cells (T1/T2/M) | 일정 오경보 확률 | 신호 대 잡음비 (dB) | 탐지확률 |
|----------------------------|------------------|------------------|--------|
| 1/1/54 | 10 ⁻⁷ | 11.9725 | 0.3282 |
| 2/2/54 | " | 11.8048 | 0.3134 |
| 3/3/54 | " | 11.6276 | 0.2985 |
| 4/4/54 | " | 11.4427 | 0.2627 |
| 5/5/54 | " | 11.2497 | 0.2665 |
| 6/6/54 | " | 11.0476 | 0.2503 |
| 7/7/54 | " | 10.8357 | 0.2332 |
| 4/24/54 | " | 22.861 | 0.8923 |
| 4/28/54 | " | 23.6263 | 0.904 |
| 4/32/54 | " | 24.697 | 0.9186 |
| 4/36/54 | " | 25.8227 | 0.9299 |
| 4/40/54 | " | 27.2978 | 0.9411 |
| 8/4/54 | " | 14.0086 | 0.4843 |
| 12/4/54 | " | 13.5977 | 0.4243 |

그림 8과 표 2는 수중 환경이 균일한 환경이 아닌 경우 셀 평균 일정 오경보 확률의 단점을 보완하기 위해 제안된 순서통계, TM 방법을 수신된 신호에 적용한 결과이다. 특히, TM 방법의 경우엔 잔향 잡음과 간섭 표적의 영향을 고려하여 비대칭적으로 적용하는 것이 효과적임을 알 수 있다

IV. 결 론

이 논문에서는 실제 능동 소나 환경에서 수신된 신호를 거리/도플러 영역에 나타내어 표적의 존재 유무를 판단하는 일정 오경보 확률 탐지기를 구성하였으며, 신호의 특성에 따라 기존의 일정 오경보 확률 탐지기를 적용시켜 표적 탐지 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과에서 CW 신호는 선형 주파수 변조 신호와 비교시 비교적 정확한 표적 정보를 획득할 수 있는 반면에 동일 오경보 확률에서 탐지 확률은 떨어짐을 확인하였다. 낮은 신호대 잡음비를 갖는 원거리 표적에 대해서는 선형 주파수 변조 신호의 탐지 성능이 CW 신호에 비해 우수함을 확인할 수 있었다. 효과적인 일정 오경보 확률 탐지기의 운용을 통한 정확한 표적 정보 획득을 위해서는 수중 환경에 대한 정확한 정보의 수집과 이를 토대로 적합한 일정 오경보 확률 탐지기를 선택하는 것이 중요하다.

앞으로 능동 소나 환경에서 새로운 일정 오경보 확률 처리 기법을 이용하여 원하는 표적을 정확하게 탐지할 수 있는 방법에 관한 연구와 시뮬레이션 기법 [12][13], CW/선형 주파수 변조 신호에 있어서 일정 폭을 가지고 나타나는 잔향 잡음 제거에 관한 연구가 필요하며, 마지막으로 수중 환경에 대한 지속적인 연구와 이를 바탕으로 다양한 형태의 자료의 확보와 이용이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. R.J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, McGraw- Hill, 1975.
2. G. Minkler and J. Minkler, *CFAR : the Principles of Automatic Radar Detection in Clutter* Magellan, 1990.
3. M. Barkat, *Signal Detection & Estimation*, Artech House, 1991.
4. H. Rohling, "Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations," *IEEE Trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 608-621, July 1983.
5. Barbooy, A. Lomes and E. Pekalski, "Cell-averaging CFAR for multiple target situations," *Proc. IEE Part F Comm. Radar & Signal Proc.*, vol. 133, no. 1, pp. 176-186, Feb. 1986.
6. P.P. Gandhi and S.A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background," *IEEE Trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 24, no. 7, pp. 427-445, July 1988.
7. C.J. Kim, D.S. Han and H.S. Lee, "Generalized OS CFAR Detector with Noncoherent Integration," *Signal Processing*, vol. 31, no. 1, pp. 43-56, March 1993.
8. M. Longo and M. Lops, "OS CFAR Thesholding in Decentralized Radar System," *IEEE Trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 32, no. 4, pp. 1257-1267, Oct. 1996.
9. E. Conte and M. Lops, "Clutter-Map CFAR Detection for Range-Spread Targets in Non-Gaussian Clutter," *IEEE Trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 432-455, Apr. 1997.
10. A. Mathur and P.K. Willett, "Local SNR Considerations in Decentralized CFAR Detection," *IEEE Trans. Aerospace, Electronic Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 13-22, Jan. 1998.
11. R.O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, 1991.
12. 성낙진, 김재수, 이상영, 김강, "능동 표적신호 합성," *한국 음향학회지*, vol. 13, no. 2, pp. 30-37, Feb. 1994.
13. 노정민, 최규환, 오효성, 김용득, "수중 음향 반사신호 체현을 위한 표적 모델 연구," *한국음향학회지*, vol. 15, no. 3, pp. 27-35, June 1994.

▲이 구 성(Gu Sung Lee)

1995년 3월 : 해군사관학교 전자공학과(공학사)

1999년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)

1999년 3월 ~ 현재 : 해군 복무중

※주관심 분야 : 소나 신호처리

▲김 기 만(Ki Man Kim)

1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 연세대학교 의용공학교실 Fellow
 1996년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 조교수
 ※주관심분야 : 레이더 및 소나 신호처리, 통신 신호처리,
 전기 음향, DSP 프로세서 구현

▲박 상 택(Sang Taick Park)



1984년 2월 : 홍익대학교 전자공학과
 (공학사)
 1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과
 (공학석사)
 1992년 8월 : 연세대학교 전자공학과
 (공학박사)
 1994년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연
 구원 ATM 정합팀

※주관심분야 : 적응신호처리, 이동통신, STM 트랙픽

▲이 충 응(Chung Yong Lee)

1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 12월 : Georgia Institute of Technology(Ph.D)
 1996년 2월 ~ 1997년 7월 : 삼성전자 선임연구원
 1997년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 기계전자공학부 조교수
 ※주관심분야 : 소나 신호처리, 이동통신 시스템, Chaos,
 음성인식

▲윤 대 희(Dae Hee Youn)

1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1979년 8월 : Kansas State University(M.S.)
 1982년 8월 : Kansas State University(Ph.D)
 1982년 9월 ~ 1984년 8월 : University of Iowa, Assistant
 Prof.
 1985년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 기계전자공학부 교수
 ※주관심분야 : 레이더 및 소나 신호처리, 음성인식 및 부
 호화, DSP hardware 구현, VHDL 설계,
 적응 필터