

수중조기경보 시스템을 위한 신호처리 기술

김기만*, 이원철**, 이충용***, 윤대희***

〈 목 차 〉

I. 서 론	III. 수중조기경보 시스템의 종류
II. 수중조기경보 시스템을 위한 신호처리 기법	3.1 TASS
2.1 CFAR 검출	3.2 ATAS
2.2 빔형성 기법 방향 추정 기법	3.3 SOSUS
2.3 Signalling	3.4 SAA 소나
2.4 Matched Field Processing	IV. 결 론

I. 서 론

최근 동해안에 북한의 잠수정이 출현하는 사건이 발생하면서 수중조기경보 시스템의 필요성이 크게 대두되었다. 이를 위해 미국과 일본은 공동 연구를 수행하기로 하였다는 언론의 보도도 있었다. 수중조기경보 시스템은 수상 및 해양 감시를 통해 수중의 목표물을 원거리에서 조기에 탐지하여 사전에 효율적인 조치를 취할 수 있도록 하는 것을 말한다. 이를 위해 소나와 같은 음향 매체 및 레이더, 적외선등과 같은 비음향 매체를 사용한다. 특히 소나는 수중 목표물을 감시, 제어하기 위해 보편적으로 사용되고 있으며, 이는 수중으로 음향 신호를 방사하고 표적으로부터 반사되어 센서로 수신되는 신호를 처리하여 거리, 방향, 속도 정보 등을 추출하는 능동형과 단지 표적이 방사하는 소

음을 수신하여 방향과 거리를 측정하는 수동형이 있다. 단지 수신된 신호만을 이용하여 표적에 대한 정보를 측정하려 한다면 오탐할 확률이 높다. 왜냐하면 수신된 신호 가운데에는 능동형인 경우 해수면, 해저 및 공간내 부유 물질로부터 반사된 잔향(reverberation) 성분, 그리고 수동형인 경우 자체 소음 및 배경 잡음등이 표적 신호와 함께 섞여 입사되기 때문이다.

따라서 오탐 확률을 줄이고 정확한 정보를 추출하기 위해서는 각종 신호처리 기법이 요구되는데 이에는 CFAR(Constant False Alarm Rate) 검출, 빔 형성, 방향 탐지, Signalling 및 matched field processing등이 포함된다. CFAR 검출이란 감시 영역의 환경 변화에도 불구하고 항상 일정한 표적 검출 확률을 갖도록 하는 기법이며, 빔 형성은 특정 방향으로 이득을 크게 함으로써 다른 방향으로

* 한국해양대학교 전파공학과, 수중음향특화연구센터

** 숭실대학교 정보통신공학과, 수중음향특화연구센터

*** 연세대학교 기계전자공학부, 수중음향특화연구센터

부터 수신되는 신호의 영향을 줄이기 위한 것이다. 또한 방향 탐지를 위해서는 다중 표적 분리가 가능한 고분해능 기법들이 적용되고 있으며, 능동형 소나인 경우 단순히 CW(Continuous Wave) 신호만이 아닌 목표물의 특성에 맞는 송신 신호의 적절한 선택도 필요하다.

이러한 신호처리 기법들을 적용한 수중조기경보 체계로써 TASS(Towed Array Sonar System), ATAS(Active Towed Array Sonar), SOSUS(Sound Surveillance System), SAA(Synthetic Aperture Array) 소나등이 있다. 본 논문에서는 실제 이들 시스템에 적용되고 있는 신호처리 기법들에 대해서 논의하고, 몇 가지 대표적인 시스템들을 소개하도록 한다.

II. 수중조기경보 시스템을 위한 신호 처리 기법

2.1 CFAR 검출

수신된 신호로부터 표적 신호가 존재하는지 확인하고자 할 때 여러 가지 최적 기준을 사용할 수 있다. 그중에서 신호대 잡음비를 최대로 하거나 일정한 오경보 확률을 가지면서 검출 확률을 최대로 하는 기준이 대표적인 것이다[1]. 이들은 가우시안 환경에서 동일한 해를 갖는다. 백색 잡음 환경에서 최적 검출기 구조는 정합 필터(matched filter)인데, 만약 CW 신호를 사용하였을 경우 잔향 잡음은 백색이 아니므로 백색화되어야 한다. 반면 FM 신호를 사용한다면 수신된 신호는 백색화되었다고 생각할 수 있다. 정합 필터에 의해 처리된 신호에서 표적의 존재 유무를 판별하기 위해서는 미리 정해진 문턱치(threshold)와 비교해야 한다. 그런데 이 문턱치는 잡음의 특성에 따라 일정한 오경보 확률을 갖도록 적응적으로 변화하여야 하지만 일반적으로 잡음의 특성을 정확히 알지 못하므로 수신 신호로부터 추정하여야 한다. 일반적으로 필터를 통과한 신호의 오경보 확률 PFA는 다음 식과 같다.

$$P_{FA} = \exp\left(\frac{-V_T^2}{2\beta^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

윗 식에서 VT는 문턱치이며, β는 잡음 성분의 파워이다. 즉(1)식으로 부터 잡음 성분의 파워를 알

고 있어야 한다는 것을 알 수 있다.

이 잡음의 파워를 적응적으로 추정하기 위한 방법들에 CA(Cell Averaging), OS(Ordered Statistics) 등이 있다. 그림 1에 나타낸 것처럼 CA CFAR는 잡음의 파워를 이웃한 샘플들의 평균으로 추정한다. 이 CA CFAR는 계산이 간단하다는 장점이 있으나 잡음의 특성이 백색이 아닌 경우 잡음 부근에서 높은 문턱치를 추정하여 표적을 검출하지 못하며 다중 표적을 분해하지 못하는 단점을 지니고 있다.

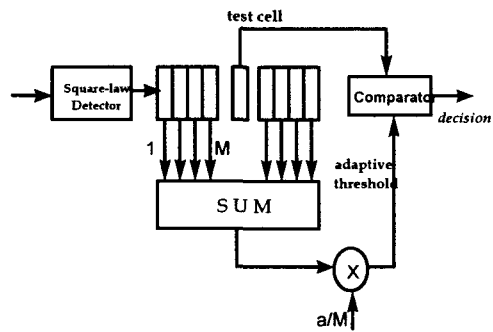


그림 1. CA-CFAR의 블록도

OS-CFAR는 윈도우 셀내의 값들을 순서대로 나열하고 잡음의 파워는 잡음의 파워는 임의의 K번째 값을 이용하여 추정한다. K가 M/2 라면 메디안 필터가 된다. 이 OS-CFAR의 오경보 확률은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{FA} = K \left(\frac{M}{K}\right) \frac{\Gamma(\alpha + M - K + 1)\Gamma(K)}{\Gamma(\alpha + M + 1)} \dots\dots\dots (2)$$

균질상황에서 CA-CFAR는 OS-CFAR보다 좋은 성능을 나타내나 비균질 환경에서는 CA-CFAR가 간섭신호와 큰 파워의 잡음 신호를 제외시키지 못하여 높은 문턱치를 유지한다. 이외에 잡음의 특성이 변하는 edge에서 시험하고자 하는 셀의 정확한 잡음 파워를 알아내기 위해 윈도우를 둘로 나누어 큰쪽을 선택하는 GO(Greatest-Of)-CFAR와 작은쪽을 선택하는 SO (Smallest-Of)- CFAR 그리고 너무 크거나 작은 값을 제외하고 나머지 데이터에 OS-CFAR를 적용하는 TM (Trimmed-Mean)-CFAR

등이 있다.

2.2 빔 형성 기법

빔 형성이란 특정 방향으로 이득을 크게 하고 다른 방향으로는 이득을 낮게 함으로써 방향성 잡음 또는 간섭 신호를 제거하기 위한 기법들이다. 고전적인 방법들로는 단지 특정 방향으로 빔을 만들면서 부엽의 레벨을 낮추는 방법들이 있으나 근래에는 환경 적응적인 방법들이 이용되고 있다. 선형으로 배열된 하이드로폰으로 구성된 소나에서 고전적인 빔 형성 기법을 그림 2에 나타내었다.

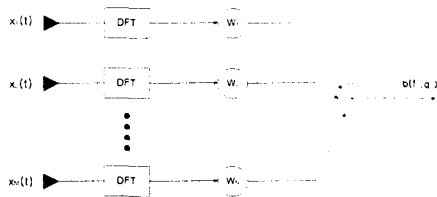


그림 2. 고전적인 빔 형성기의 구조

그림에서 나타난 계수값 w_i 들을 적절히 선택함으로써 빔의 형태를 조절할 수 있다. 이 빔 형성기의 응답은 식 (3)과 같다.

$$b(f_s, \theta)_{t_0} = \sum_{n=1}^N X_n(t_0, f_s) \exp \left[j2\pi f_{0s} \frac{\delta(n-1) \sin \theta}{c} \right] \dots \dots \dots (3)$$

환경 적응적인 빔 형성 기법들은 크게 표적의 도플러 주파수를 아는 경우와 모르는 경우로 나뉘는데 도플러 주파수를 모르는 경우에는 관심있는 주파수 대역에서 백색 잡음의 이득을 일정하게 하고 출력의 파워를 최소화하는 기준을 사용한다[3]. 이 기준의 최적 계수는 신호의 공분산 행렬의 최소 고유치에 대응하는 고유벡터로 주어지나 실제 이에는 많은 계산량이 필요하므로 선형 예측 방법을 이용하여 준최적 해를 이용하기도 한다[4]. 신호의 도플러 주파수를 아는 경우 pilot 신호를 이용하거나 선형 제한 조건을 유지하면서 출력의 파워를 최소화하는 알고리즘등이 제안되었다[3]. 또한 실제 환경에서는 다경로(multipath)를 통해 신호가 전달되므

로 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로써 공간 스무딩(spatial smoothing) 기법이 연구되었다.

2.3 방향 추정 기법

고정된 계수를 갖는 소나 시스템을 이용하여 표적의 방향을 알아내기 위하여 lobe switching, conical scan, 모노펄스 기법 등을 사용한다. 모노펄스 방법은 표적의 동요에 영향을 받지 않고 하나의 펄스만으로 빠르게 위치를 찾는다. 이에는 크기 모노펄스와 위상 모노펄스가 있다. 크기 방식은 시간 지연소자 혹은 위상 변환기가 필요하며, 일반적으로 입사각과 오차 신호가 closed form으로 나타나지 않는다. 이에 비해 위상 방식은 부엽에 있는 간섭신호에 의해 주엽에 있는 표적의 위치 추정을 어렵게 한다. 모노펄스 방식외에 기존의 대표적인 방법으로 시간 지연 추정(time delay estimation) 기법들이 사용되었다. 즉 서로 다른 위치에 있는 센서에 도달하는 신호의 위상차는 입사 신호의 방향의 함수이므로 이 위상 또는 시간차를 측정함으로써 방향을 추정할 수 있다. 이를 위해 각 센서로 수신된 신호 사이의 상호 상관도(crosscorrelation)을 구함으로써 시간 지연을 측정할 수 있다.

모노펄스 기법이나 시간 지연 추정 방법은 탐지 영역내에 다수의 목표물이 있는 경우 성능의 저하를 가져온다. 이를 위해 고분해능을 갖는 기법들을 적용하면 문제를 해결할 수 있다. 이러한 방법들에는 Capon의 방법과 신호의 고유 구조를 이용하여 방향을 추정하는 MUSIC[5], Minimum-Norm등이 있는데 각각의 스펙트럼 식은 다음과 같다.

$$P_C = \frac{1}{a^H(\theta) R^{-1} a(\theta)} \dots \dots \dots (4)$$

$$P_C = \frac{1}{a^H(\theta) R^{-1} a(\theta)} \dots \dots \dots (5)$$

$$P_M = \frac{1}{\|U_n^H a(\theta)\|^2} \dots \dots \dots (6)$$

여기서 R은 입력신호의 자기상관행렬, U_n 은 잡음 부공간(noise subspace)이며, v_{\min} 은 R의 최소 고유치에 대응하는 고유벡터, $a(\theta)$ 는 방향 벡터이다. 즉

MUSIC 방법은 잡음 부공간과 신호가 차지하고 공간은 서로 직교하는 특성을 이용하는 것으로써 이상적인 경우 신호 입사 방향에서 (4)식은 무한대의 값을 갖는다. 이 MUSIC 방법은 좋은 분해능을 나타내나 계산량이 많고 신호대 잡음비가 낮을 경우 성능이 크게 저하되는 단점을 갖고 있다. 따라서 근래에는 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법들이 제안되고 있다. 이외에도 광대역 신호의 도래각을 추정하기 위한 ESPRIT 방법등도 많은 연구가 이루어졌다.

2.4 Signalling

능동형 소나에서 사용하는 신호는 대상의 특징에 따라 결정된다. 즉 각 신호에는 장단점이 있기 때문에 한가지 신호만을 사용하기 보다는 이러한 신호들을 복합적으로 사용하게 된다. 일반적으로 좋은 신호란 모호함수(ambiguity function)가 impulsive한 특성을 가져야 한다. 그러나 실제로 이러한 특성을 갖는 신호를 얻기는 어려우므로 여러 신호를 혼용함으로써 상호 장단점을 보완하게 된다. 많이 사용되는 신호로는 CW, Linear FM, Hyperbolic FM 등이 있다. 신호의 선택을 위해 일부 동물 실험이 수행되기도 한다. 즉 동물 가운데 초음파를 사용하는 박쥐나 돌고래의 생활 패턴을 연구하여 실제 시스템에 응용하기도 하는데 예를들어 제한된 공간내에서 서로 다른 종의 박쥐를 같은 숫자로 넣고 먹이가 부족하도록 제공하면 먹이를 잘 탐지하는 종만 살아남게 되는데 이 종이 사용하는 신호를 연구하는 것이다.

CW 신호는 ping 지속 시간동안 일정한 주파수를 갖는 파형으로 long 펄스인지 short 펄스인지에 따라 거리 또는 도플러 영역에서 모호한 특성을 갖는다. LFM 신호는 ping 지속 시간동안 주파수가 선형적으로 변화하는 것으로 거리 및 도플러축에 대해 모두 모호한 특성을 갖는다. 그러나 광대역 신호를 사용함으로써 잡음 성분을 백색화하는 특징을 갖고 있으며 따라서 CFAR 처리시 좋은 성능을 얻을 수 있다. 특히 낮은 도플러 주파를 갖는 표적에 대해 효율적이다. HFM 신호는 순시 주파수가 Hyperbolic 함수 형태로 변화하는 것으로 doppler invariant 성질

을 갖는다. 마지막으로 위상 변조된 신호를 사용하는 경우가 있다. 이 경우 앞선 다른 신호들과는 달리 임펄스에 가까운 모호함수를 얻을 수 있는데 레이다 분야에서 널리 사용되고 있다. 예를들어 F-16 전투기에 장착된 레이다에서는 Barker 코드라는 거의 임펄스 특성을 갖는 신호를 사용하고 있다.

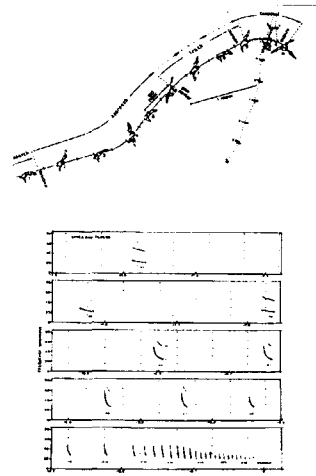


그림 3. 박쥐의 이동과 관련된 스펙트로그램[15]

2.5 Matched Field Processing

그 동안 대부분의 경우 소나 신호처리에 사용하는 신호 모델은 많은 가정하에서 이루어졌다. 대표적인 것으로 수신된 신호는 평면파라는 가정은 실제 수중 환경에서는 적합치 않다. 즉 수중에서는 방사된 신호가 수중의 매질 특성 및 수온 등의 영향으로 인해 채널을 형성하기도 하고 신호가 곡선으로 방사하기도 한다. 따라서 보다 정확한 신호 모델을 사용하는 것이 요구되는데 이것이 Matched Field Processing이다. Matched Field Processing은 불규칙한 해양 환경으로 인해 발생하는 복잡한 음향 전파 모델을 이용하여 기존의 여러 방법들을 일반화시킨 것이다. 이를 위해서는 해양에서의 음향 전파 모델링이 요구되며, 전파 속도, 해저의 형태 및 성분, 수심, 수온 분포 등의 정보가 필요하다[6].

또한 mode space에서 처리하는 Matched Mode Processing이 있는데 이는 Matched Field Processing

에 비하여 계산량이 적고 음파의 전파 모델 오차에 강인한 장점을 갖는다.

Ⅲ. 수중조기경보 시스템의 종류

종합적인 조기경보 시스템을 운용하기 위해서는 함정, 잠수함, 항공기등에서 운용하는 TASS, Sonobuoy, dipping 소나로부터 획득한 정보를 복합적으로 이용한다. 이런 다양한 정보를 육상종합정보센터에서 분석, 판단하게 되는 것이다. 이를 그림 4에 나타내었다.

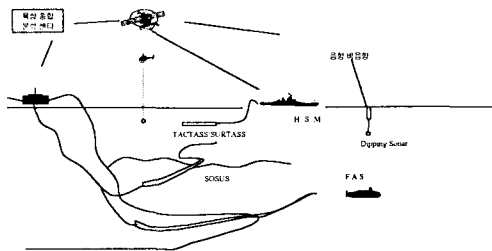


그림 4. 수중조기경보 시스템 운용도

3.1 TASS(Towed Array Sonar System)

TASS는 선배열 센서가 케이블에 예인되어 수신된 음향 자료를 처리하여 운용자가 정보를 이용토록 하는 수동형 소나이다. 이들은 1980년대부터 실용화되어 대잠 전술용으로 운용되고 있다. TASS를 위한 신호처리에는 표적 방향으로 빔을 형성하는 빔 형성 기법, 자체 잡음 제거하는 기술등이 요구된다. 미국은 AN/SQR-19를 개발 운용중이고, 영국은 저주파 탐지 능력이 향상된 시스템을 운용중에 있다. 또한 독일, 호주에서 독자 개발 운용중에 있으며, 우리나라도 한국형 시스템을 개발하였다.

3.2 ATAS(Active Towed Array Sonar)

ATAS는 능동형 TASS로써 수동형에 비해 상대적으로 높은 주파수를 갖는 표적을 감시하며 방향 분해능력이 우수하다는 장점을 갖는다. ATAS는 TASS의 능력을 개선하기 위해 소형 저주파 고출력 능동 센서를 부착하여 사용하는데 오늘날에는 bistatic 소나 또는 multistatic 소나로 확장되고 있다.

3.3 SOSUS(Sound Surveillance System)

SOSUS는 잠수함 통과 길목과 같은 주요 요충지의 해저에 고정 설치되어 TASS등과 같은 다른 수중조기경보 시스템과 연계하여 사용한다. 미국의 경우 1960년대 이전부터 개발하여 세계 주요 해역에서 운용중이며, 일본도 북해도 및 동해일원에서 운용중에 있다.

3.4 SAA(Synthetic Aperture Array) 소나

TASS와 같은 고정된 길이를 갖는 소나만으로는 극저주파 표적의 탐지가 매우 어렵다. 왜냐하면 저주파 신호를 감지해야 할수록 aperture 크기는 길어져야 하나 이는 실제로 구현하기 어렵고 또한 긴 배열을 견인하는 경우 견인 과정에서 배열의 위치 특성이 변하여 원하는 특성을 얻을 수 없기 때문이다.

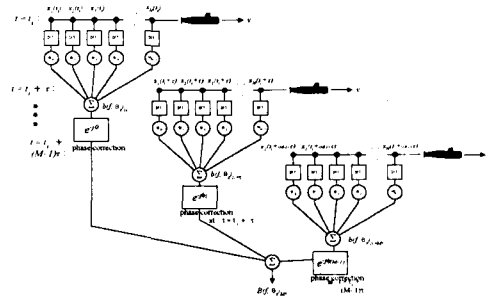


그림 5. SAA 소나 운용 개념도

따라서 이 경우 제한된 어레이를 견인하면서 시간적인 보상을 취하여 궁극적으로 하나의 긴 어레이를 사용하는 것과 같은 효과를 내도록 하는 기법이 제안되었는데 이것이 SAA(Synthetic Aperture Array) 소나이다. 그림5에 이의 운용 과정을 나타내었다.

그림 5에서와 같이 등속도 v 로 움직이는 견인 부 어레이 상에 연속적으로 일정한 시간 내에 취득된 신호들을 DFT 처리 후에 가중치를 곱한 후 더해진 어레이 응답에 위상보정을 거친 후 최종적인 합성 어레이 응답을 구해낸다. 이러한 합성과정을 통하여 구해낸 합성 어레이 응답은 어레이의 물리적인 길이를 늘리는 효과를 발생하며 최종적으로 얻어낸 합성 어레이 응답의 전력 패턴을 통하여 원하는 입

사각 및 도플러주파수에 대한 고해상도의 추정을 가능케 한다. 여기서 합성 어레이 응답 $B(f_s, \theta_s)_M$ 을 각각의 부어레이 응답들로 표현하면 다음과 같다.

$$B(f_s, \theta_s)_M = \sum_{m=1}^M b(f_s, \theta_s)_{l_0+(m-1)r} \exp(-j\phi_{m-1}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

여기서 π 는 위상보정 성분을 의미하며 $m+1$ 번째 신호 취득과정에서 계산되는 어레이 응답은 다음과 같다.

$$b(f_s, \theta_s)_M = b(f_s, \theta_s)_{l_0+m} = \sum_{n=1}^N X_n(t_0+mr, f_s) \exp\left[2j\pi f_s \frac{\alpha(n-l_0)}{c}\right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

식에서 볼 수 있듯이 최종적인 어레이 응답은 시간간격으로 신호취득이 이루어지는 개별적인 부어레이 응답과 취득시의 위상보상 성분에 의하여 합성되며 이때 각 센서의 첨가잡음이 없다고 가정하면 합성된 패턴은 다음과 같다.

$$B(f_s, \theta_s)_M = b(f_s, \theta_s)_{l_0} \sum_{m=1}^M \exp[j(2\pi f_s(m-1)r - \phi_{m-1})] \quad \dots\dots\dots (9)$$

식에서 위상보상 성분 $m=j2f_s m$ 이며 여기서 $f_s = f_0(1+v\sin\theta/c)$ 는 도플러 주파수에 대한 조절 값을 의미한다. 따라서 연속적인 신호취득 과정 수가 늘어날수록 도플러 주파수에 대한 추정 해상도가 향상되며 입사각에 대한 해상도는 부어레이의 하이드로폰의 개수와 밀접한 관계가 있다. 이러한 현상을 설명하기 위하여 식 (9)의 전체적인 합성 빔 패턴을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$B(f_s, \theta_s)_M = A \frac{\sin[\pi(f_s - f_0)\Delta T]}{\sin[\pi(f_s - f_0)\Delta T]} \frac{\sin\left[\pi\delta\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - \frac{\sin\theta_s}{\lambda_s}\right)N\right]}{\sin\left[\pi\delta\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - \frac{\sin\theta_s}{\lambda_s}\right)\right]} \frac{\sin[\pi(f_s - f_0)M\tau]}{\sin[\pi(f_s - f_0)\tau]} e^{j\phi} \quad \dots\dots\dots (10)$$

여기서 $s=(c-v \sin\theta)/f_0$ 이다. 만약 취득신호의 중심주파수 f_0 와 상대속도 v 가 알려져 있는 상태라면 위와 같은 합성과정을 통하여 추정되어야 할 파라메타는 결국 플랫폼에서 취득되는 신호의 입사각이 되며 이러한 경우 합성 어레이 응답은 다음과 같이 간소화된 표현식으로 나타난다.

$$B(f_0, \theta_s)_{M1} = A_0 \frac{\sin\left[\frac{\pi\delta}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_s)N\right]}{\sin\left[\frac{\pi\delta}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_s)\right]} \frac{\sin\left[\frac{\pi\tau r}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_s)M\right]}{\sin\left[\frac{\pi\tau r}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_s)\right]} e^{j\phi} \quad \dots\dots\dots (11)$$

여기서 $A_0 = A \sin\left(\frac{\pi v}{\lambda} \sin\theta \Delta T K\right) / \sin\left(\frac{\pi v}{\lambda} \sin\theta \Delta T\right)$ 이다.

그러나 수중환경에서 단일의 목표물들에 의해 방사되는 신호성분은 일반적으로 목표물의 내부의 기계류나 추진장치에서 발생하는 주기성이 높은 신호이며 각각 고유한 중심주파수들을 갖는다. 따라서 서로 다른 고유 중심주파수들을 갖는 다수의 목표물이 존재하는 경우 이들로 부터 방사되는 신호들은 서로 다른 음향 전달경로를 거쳐서 여러 형태의 입사각을 유지하며 어레이 플랫폼에 취득되며 각각의 고유한 중심주파수 및 입사각에 따라 서로 다른 도플러 주파수를 유지하게 된다. 따라서 입사신호들의 도플러 주파수 및 입사각을 추정을 통해 고유 중심주파수를 인지할 수 있으며 이들을 사용하여 목표물들의 구분이 가능하게 된다.

SAA 소나의 성능을 고찰하기 위하여 수중음향환경하에서 등속도를 유지하며 움직이는 부어레이 플랫폼 상으로 취득되는 다수의 원거리 정지상태의 표적의 방사신호에 대한 모의 실험 데이터를 발생시켜 도플러 주파수 및 입사각 탐지기법에 대한 효과를 알아본다.

이때 센서의 간격 = 1m로 유지하는 부어레이를 5knots로 이동시키면서 취득되는 신호들의 입사각 및 도플러 주파수를 추정하였으며, 신호 취득 과정수를 증가시키면서 해상도의 변화를 관찰하였다. 이때 총 신호취득에 소요되는 시간 안에는 주변환경이 코히어런트 하다고 가정하며 센서 첨가 잡음은 독립적인 가우시안 랜덤신호이다. 부어레이를 구성하는 하이드로폰의 개수가 32개 이고 단일 방사신호가 서로 다른 두 개의 음향전달경로를 거쳐서 부어레이 상으로 취득되는 경우이다. 이때 방사신호의 입사각은 각각 10^0 그리고 10^0 이며 센서출력의 신호대 잡음비가 -20dB이다. 그림 6과 그림 7은 각각 신호 취득 과정수 $M = 1, 5, 15$ 그리고 30으로 변화시키면서 나타낸 합성 빔 전력 패턴들의 로그 스

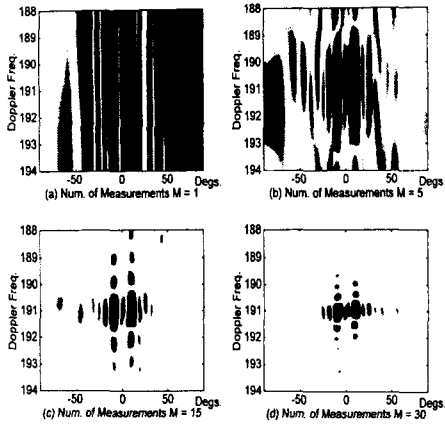


그림 6. 단일 목표물에 의해 방사된 신호의 도플러-입사각 추정을 위한 합성 빔전력 패턴

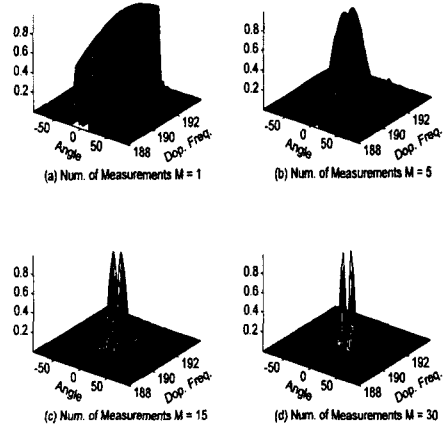


그림 7. 그림 6에 대한 정규화된 3차원 합성 빔 전력 패턴

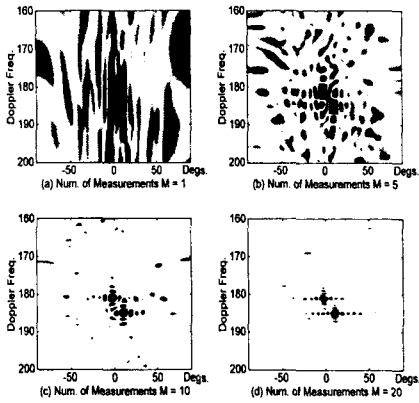


그림 8. 두가지 목표물에 의해 방사된 신호의 도플러-입사각 추정을 위한 합성 빔 전력 패턴

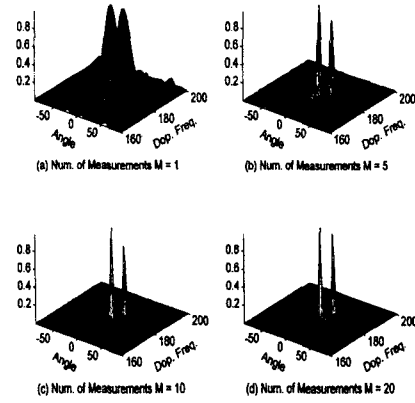


그림 9. 그림 8에 대한 정규화된 3차원 합성 빔 전력 패턴

케일 값과 정규화된 실제값에 대한 3차원 전력패턴이다. 그림 8과 그림 9는 181Hz와 185Hz의 중심주파수를 갖는 두 개의 신호가 각각 3^0 및 10^0 의 방향으로 입사되는 경우 합성 취득과정을 거쳐서 계산된 합성 빔 전력 패턴들을 나타낸 그림이다.

IV. 결론

본 논문에서는 수중조기경보 시스템에서 사용되는 신호처리 기법들에 대해 고찰하고, 실제 적용 예

들을 살펴보았다. 이에는 CFAR 검출, 빔형성, 방향 추정, signalling 및 Matched field processing등이 포함되어, 운용되고 있는 시스템의 종류들을 살펴보았다. 특히 SAA 소나 처리기법은 수중환경하에서 일정한 수의 하이드로폰들로 구성되는 부어레이를 공간상으로 이동시키면서 다수의 원거리의 고정 목표물들로부터 방사되는 신호들에 대한 도플러 주파수 및 입사각 추정을 위한 기법으로 극저주파수 표적 검출에 유용하다.

추정되는 파라메타인 입사각 성분 공간상의 목표물의 위치판단을 위해서 필수적이며 또한 도플러 주파수성분은 천해 수중환경상의 음향전달경로 특성에 관계없이 서로 다른 목표물간의 식별에 절대적으로 요구되는 성분 파라메타로서 작용한다. 이러한 두 가지 파라메타들의 추정 해상도를 증대시키기 위하여 여러 번의 신호취득과정을 거치게 되며 모의실험 결과를 토대로 취득과정 수를 늘릴수록 낮은 신호대 잡음비하에서도 우수한 해상도를 갖는 도플러-입사각 합성 빔 전력패턴을 얻게됨을 확인하였다. 앞으로는 이러한 기술을 바탕으로 우리의 환경에 적합 기술을 습득 및 개발해 나가는 것이 필수 과제라 할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] M. Barket, Signal detection & estimation, Artech House, 1991.
 [2] N. Levanon, Radar principles, Wiley, 1988.
 [3] Haykin and A. Steinhardt, Adaptive radar detection and estimation, Wiley, 1992.
 [4] S. Haykin, "Radar signal processing," IEEE ASSP magazine, pp.2-18, Apr. 1985.
 [5] R.O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. Antennas & Propagat., vol.AP-34, pp.276-280, March 1984.
 [6] J.F. Krolik, "Matched field minimum variance beamforming in a random ocean channel," JASA, vol.92, pp.1408-1419, Sept. 1992.
 [7] S. Stergiopoulos, "Limitation on towed-array gain imposed by a non-istropic ocean," J. Acoust. Soc. Am., Nov. 1991.
 [8] R. Williams and B. Harris, "Passive acoustic synthetic aperture processing techniques," IEEE J. of Oceanic Eng., vol.17, no.1, pp.8-15, Jan. 1992.
 [9] N. Yen and W. Carey, "Application of synthetic aperture processing to towed-array data," J. Acoust. Soc. Am., vol.86, no.2, pp.754-765, Aug. 1989.
 [10] S. Stergiopoulos and E.J. Sullivan, "Extended

towed array processing by an overlap correlator," J. Acoust. Soc. Am., vol.86, no.1, pp.158-172, July 1989.
 [11] S. Stergiopoulos and H. Urban, "A new passive synthetic aperture technique for towed arrays," IEEE J. of Oceanic Eng., vol.17, no.1, pp.16-25, Jan. 1992.
 [12] A. H. Nutall, "The maximum likelihood estimator for acoustic synthetic aperture processing," IEEE J. of Oceanic Eng., vol.17, no.1, pp.26-29, Jan. 1992.
 [13] N. Yen, "A circular passive synthetic array : an inverse problem," IEEE J. of Oceanic Eng., vol.17, no.1, pp.40-47, Jan. 1992.
 [14] G. Edelson and E. J. Sullivan, "Limitation on the overlap-correlator method imposed by noise and signal characteristics," IEEE J. of Oceanic Eng., vol.17, no.1, pp.30-39, Jan. 1992.
 [15] Whitl W.L. Au, The SONAR of Dolphins, Springer-Verlag, 1993.



김 기 만(Ki-Man Kim)
 1998년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 8월 연세대학교 본대학원 전자공학과(공학석사)
 1995년 2월 연세대학교 본대학원 전자공학과(공학박사)
 1995년 3월~1996년 8월 연세대학교 의용공학교실 Fellow
 1996년 9월~현재 한국해양대학교 전자공학과 조교수
 * 주관심분야 : 레이더 및 소나 신호처리, 통신신호처리, 전기 음향, DSP 프로세서 구현

이 충 옹(Chung-Yong Lee)

1987년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)
1989년 2월 연세대학교 본대학원 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~현재 연세대학교 기계전자공학부 교수
* 주관심분야 : 레이더 및 소나 신호처리, 음성인식 및 부호화, DSP hardware 구현, VHDL설계, 적응 필터

이 원 철(Won-Chul Lee)

1986년 2월 서강대학교 전자공학과(공학사)
1988년 2월 연세대학교 본대학원 전자공학과(공학석사)
1994년 Polytechnique University, New York(Ph.D)
1995년 9월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 조교수
* 주관심분야 : 레이더 및 소나 신호처리, 이동통신 시스템, 디지털 시스템 인지