

표적탐지성능을 이용한 다중상태 소나의 효과도 분석

The Effectiveness Analysis of Multistatic Sonar Network Via Detection Performance

장재훈* 구본화* 홍우영** 김인익*** 고한석*
Jang, Jae-Hoon Ku, Bon-Hwa Hong, Woo-Young Kim, In-Ik Ko, Han-Seok

ABSTRACT

This paper is to analyze the effectiveness of multistatic sonar network based on detection performance. The multistatic sonar network is a distributed detection system that places a source and multi-receivers apart. So it needs a detection technique that relates to decision rule and optimization of sonar system to improve the detection performance. For this we propose a data fusion procedure using Bayesian decision and optimal sensor arrangement by optimizing a bistatic sonar. Also, to analyze the detection performance effectively, we propose the environmental model that simulates a propagation loss and target strength suitable for multistatic sonar networks in real surroundings. The effectiveness analysis on the multistatic sonar network confirms itself as a promising tool for effective allocation of detection resources in multistatic sonar system.

주요기술용어(주제어) : Multistatic Sonar Network(다중상태 소나), Distributed Detection(분산탐지), Target Detection(표적탐지), Bayesian Decision(베이시안 결정기법), Sensor Arrangement(센서 배치)

1. 서론

최근 잠수함은 조선/통신전자분야에 대한 급속한 기술발전으로 방사소음이 감소하고, 정속화가 진행되어 기존 단상태(Monostatic) 소나를 통한 탐지가 어려운 실정이다. 이에 대한 대안으로 선진해군에서는 양상태 소나를 기반하는 다중 송/수신기 시스템인 다중상태(Multistatic) 소나를 차기 대잠전 체계로 활발

히 연구하고 있다.

다중상태 소나는 송신기와 다중 수신기를 분산 운용할 수 있는 소나체계이다^[1]. 이것은 다중 수신기를 통해 탐지영역 확장이 가능하고, 송신기와 분리된 수신기는 음원을 피해 회피하는 잠수함의 탐지율을 증대시킬 수 있는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 이러한 장점을 갖는 다중상태 소나의 효과도를 분석한다. 해상에서의 다양한 실험을 통해 효과도 분석을 수행하는 것이 가장 타당한 결과를 도출하겠지만, 해상 실험의 경우 비용 및 운용상 문제로 인한 현실적인 문제에 직면하게 된다. 따라서 본 논문에서는 다중상태 소나에 적합한 시뮬레이션 모델과 표적탐지 기술의 제안을 통해 다중상태 소나의 효과도 분석에 접근한다.

† 2005년 11월 30일 접수~2006년 3월 17일 게재승인

* 고려대학교(Korea University)

** 해군사관학교(Naval Academy)

*** 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : hsko@ispl.korea.ac.kr

시뮬레이션 모델의 정확성 정도는 효과도 분석의 신뢰성과 매우 밀접한 관련을 갖는다. 본 논문에서는 실제 해양 환경을 반영한 음파 전달 특성 및 표적 반사 특성을 고려한 시뮬레이션 모델을 제안한다. 또한, 송/수신기가 분리된 다중상태 소나에 적합한 모델을 고려했다. 이를 위해 한국 해역에 적합한 거리종속 Bellhop 전송 손실 모델을 적용하여^[2] 송신기-표적, 표적-수신기간 이원화된 전송 손실 계산하였다. 또한 다중상태 소나의 기본인 양상태 소나의 표적강도 모델을 보완하여 실제 현상과 유사하게 표적강도를 추정하는 방법을 적용하였다.

다중상태 소나는 일종의 다중분산 센서 시스템으로, 최적의 탐지성능을 갖기 위해서는 적절한 융합 규칙 및 센서 배치가 필요하다. 본 논문에서는 베이시안 결정기법(Bayesian decision)을 기반으로 한 융합 규칙을 통해 표적 판단에 대한 오류를 최소화하였으며, 양상태 소나의 탐지성능을 최대화하는 송/수신기 배치를 기반으로 다중상태 소나의 최적 배치기법을 제안한다. 또한 센서 손실 발생시 센서간 중복 탐지영역 축소 및 최대 탐지 성능을 갖는 수신기 우선 복원을 통한 센서 재배치 방법을 고려했다.

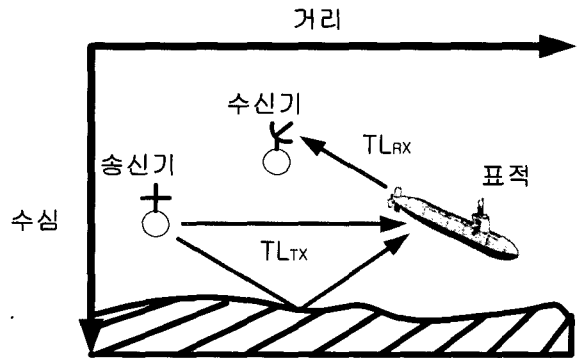
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다중 상태 소나에 적합한 음파 전달 및 표적강도 모델을 다룬다. 3장에서는 다중상태 소나의 표적 탐지 및 배치 기술을 다루며, 4장에서는 제안된 성능 분석 모델을 이용하여 다중 상태 소나의 효과도를 분석한다.

2. 시뮬레이션 모델

송/수신기가 분리된 다중상태 소나의 표적 탐지환경은 일체형 단상태 소나와 다르다. 특히 표적 탐지 환경중 전달손실과 표적반사 특성은 소나 성능예측에 중요한 요소로써, 이를 다중상태 소나에 적합하게 변환하는 과정이 필요하다.

가. 전달손실(Transmission loss : TL) 모델

전달손실은 송신기로부터 방사된 음파가 수중에서 이동시 발생하는 음원의 감쇄를 나타내는 변수이다. 이는 탐지 거리를 결정하는 가장 중요 요소로 해양환



[그림 1] 다중상태 소나의 음파 전달손실

경에 전적으로 의존하며, 시·공간적으로 변화한다. 본 논문에서는 기존 단상태 소나의 수중 음향 모델을 이용하여 송/수신기가 분리된 다중상태 소나에 적합한 전달 손실을 산출한다. 이때 사용한 수중 음향 모델은 중주파수 대역의 음파 전달 손실을 계산하는 거리종속 Bellhop 모델로써, 수심 변화가 급격하고 수온전선 및 와동류 등과 같이 거리에 따라 해양환경이 급변하는 한국 해역에 적합한 모델로 알려져 있다.

그림 1과 같이 송/수신기가 분리된 다중상태 소나의 전달손실은 송신기-표적, 표적-수신기간의 이원화된 전달손실을 구해야 한다. 그러나 표적의 위치가 변화될 경우, 표적 위치마다 전달 경로를 재산출해야 하는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 가역정리를 이용하였다. 가역정리는 송신기로부터 표적까지의 전달 손실이 표적으로부터 송신기까지의 전달손실과 같다는 것을 말한다. 즉 다중상태 소나에서 송신기~표적~수신기까지의 전달손실은 송신기에서 표적, 수신기에서 표적까지의 전달손실의 합과 같다.

나. 표적강도(Target strength : TS) 모델

양상태 소나를 기반으로 한 다중 상태 소나의 표적강도는 양상태 소나의 표적강도를 통해 추정한다. 이때 양상태 소나의 표적강도 추정은 식 (1)의 단상태 소나의 표적강도와 식 (2)의 양상태 정리(Bistatic theorem)^[3]를 이용한다. 여기서 양상태 정리는 단상태 소나 표적강도를 알고 있을때, 양상태 표적강도는 송신기-표적-수신기가 이루는 양상태 소나각의 이등분선에서 취한 단상태 표적강도와 같다는 것이다.

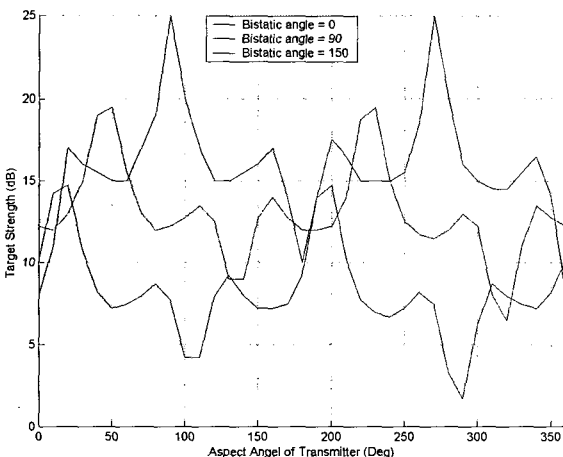
$$TS = 10 \log \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

$$TS_{Bi}(\theta_{Tx}, \theta_{Bi}) = TS_{mono}(\theta_{Tx} + \frac{\theta_{Bi}}{2}) \quad (2)$$

여기서, I 는 송신기로부터 표적에 입사된 음파의 세기, I_0 는 표적에서 반사되어 돌아온 1yard상의 음파의 세기, θ_{Tx} 는 송신기의 방위각, θ_{Bi} 는 양상태 소나각을 말한다.

그러나 기존 양상태 정리만을 이용한 표적강도 계산시, 양상태 소나각(Bistatic angle)이 증가하게 될 경우 실제 현상과는 다른 결과가 유도된다^[3]. 즉 표적이 송/수신기의 일직선 사이에 존재시 표적강도는 최소값을 갖게 되지만, 양상태 정리를 이용할 경우 최대 표적 강도를 갖게 된다. 그러므로 실제 현상과 유사한 표적 강도를 예측할 수 있도록 식 (3)과 같이 표적 강도를 개선하였다. 식 (3)의 우측 두번째 항은 양상태 정리의 결점을 보정하는 항으로 양상태 소나각이 증가할수록 표적강도를 감소시킨다. 이때 $\theta_{Bi} > 170^\circ$, $\theta_{Bi} = 170^\circ$ 로 설정한다.

$$TS_{Bi}(\theta_{Tx}, \theta_{Bi}) = TS_{mono}(\theta_{Tx} + \frac{\theta_{Bi}}{2}) + 10 \log_{10}(\frac{180 - \theta_{Bi}}{180}) \quad (3)$$



[그림 2] 양상태 소나각에 따른 표적강도

그림 2는 θ_{Tx} 변화에 따른 개선된 양상태 소나의 표적강도를 실험한 결과이다. 이때 양상태 방위각이 0도일 경우의 실험결과는 일반적인 단상태 소나의 경우와 동일하고, θ_{Tx} 가 90도일 경우 가장 큰 표적 강도를 보여주고 있다. 또한 양상태 방위각이 180도에 근접할수록 표적강도의 최고값은 점점 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉 기존의 양상태 정리에 감소항을 추가하여 실제 현상과 유사하게 표적 강도를 추정할 수 있게 된다.

3. 표적탐지 및 배치 기술

다중상태 소나는 송/수신기가 분리된 일종의 다중 분산 탐지 시스템으로, 최적의 탐지성능을 갖기 위해서는 다중 센서의 정보 융합기법과 송/수신기의 최적 배치 기법이 필요하다.

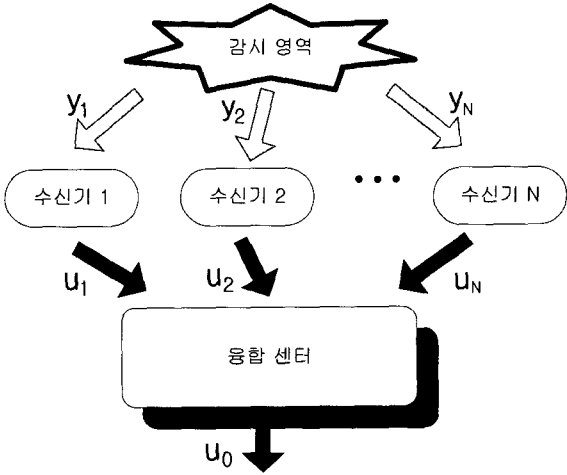
가. 다중 센서 융합 탐지기법

다중상태 소나는 각 센서들의 판단을 근거로 최종 결정을 내리는 융합과정이 필요하다. 그림 3에서 보듯이, 각 수신기는 관측값 y_i , $i = 1, \dots, N$ 을 통해 국부판단(Local decision) u_i 를 결정하며, 융합 센터는 각 수신기의 국부 결정값 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ 를 이용하여 최종 결정 u_0 를 결정한다. 수중 환경은 다수의 클러터로 인해 표적 탐지에 매우 열악한 환경이다. 그러므로 보다 안정적으로 표적 탐지를 수행하기 위하여 본 논문에서는 베이시안 결정 기법을 근거로 한 융합 기법을 적용하였다. 베이시안을 근거로 한 융합 기법은 분산 탐지 시스템의 평균 베이시안 위험도(Bayesian risk)가 최소가 되는 결정 규칙 집합을 구하는 것이다^[4]. 이 때 베이시안 위험도 함수는 식 (4)와 같이 구성된다.

$$R = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 C_{ij} P_j P(\text{Decide } H_i / H_j \text{ is present}) \quad (4)$$

$$= C_F P_F - C_D P_D + C$$

여기서 C_{ij} 는 가설 H_j 가 주어질 때 H_i 로 판단했



[그림 3] 다중 분산 탐지 시스템

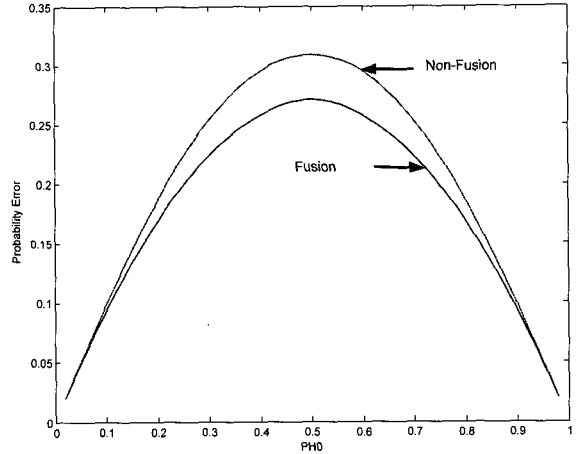
을 때의 비용(Cost)을, P_j 는 가설들의 사전확률이다. 이를 정리하면 $C_F = P_o(C_{10} - C_{00})$, $C_D = (1 - P_o)(C_{01} - C_{11})$, $C = C_{01}(1 - P_o) + C_{00}P_o$ 가 된다. 결국 분산 탐지 시스템의 오탐지 확률과 탐지확률은 다음과 같다.

$$P_F = \sum_u P(u_0 = 1|u)P(u|H_0) \quad (5)$$

$$P_D = \sum_u P(u_0 = 1|u)P(u|H_1) \quad (6)$$

그러나 각 센서의 결정규칙과 융합센터의 결정규칙을 동시에 구하는 것은 센서의 수가 증가할수록 기하급수적인 연산량 문제가 발생한다. 그러므로 최적화하려는 센서를 제외한 모든 센서가 이미 최적화되었다고 가정한 후 결정 규칙을 도출하는 Person By Person Optimization(PBPO) 방법을 도입한다.

그림 4는 다중상태 소나에서 융합기법의 효율성을 확인하기 위해 동일 성능센서를 이용하여 융합을 수행한 경우와 융합을 하지 않은 경우의 평균 위험도를 비교한 것이다. 이때 수신기 개수는 2개, 각 수신기에서의 조건부 확률밀도함수는 가우시안으로 가정하였다. 실험결과에서 보듯이 융합한 결과가 모든 사전확률에 대해 비융합 결과보다 평균 위험도가 작은 것을 볼 수 있다.



[그림 4] 융합/비융합 기법에 의한 평균 위험도

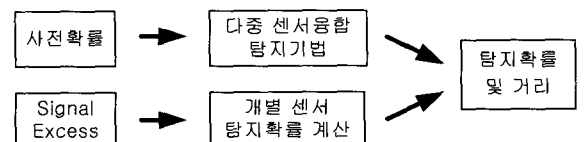
나. 다중상태 소나의 탐지확률 계산

다중상태 소나의 탐지결정규칙이 결정되면, 개별 센서의 탐지확률을 통해 표적의 최종적인 탐지확률을 계산한다. 이때 개별 센서의 탐지확률은 식 (7)을 통해 성능지수 FOM(Figure of merit)과 전달손실의 차이인 신호획득(Signal excess: SE)을 산출하고, 이를 식 (8)과 같이 가우시안 분포로 모델링(일반적으로 σ 는 8~9dB 값을 인가)하여 탐지확률을 계산한다.

$$SE = FOM - (TL_{TX} + TL_{RX}) \geq 0 \quad (7)$$

$$P_D = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{SE} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \quad (8)$$

여기서 $FOM = SL - (NL + DT - DI) + TS$ 이며, SL 음원 준위, NL 소음 준위, DT 탐지 문턱치, DI 지향 지수, TS 표적강도, TL_{TX} 및 TL_{RX} 는 송신기-표적, 표적-수신기간 전달손실이다.



[그림 5] 다중상태 소나의 탐지계산 블록도

결국, 다중상태 소나의 최종적인 표적탐지확률은 식 (6)을 만족하는 결정규칙을 만족하는 모든 조합의 탐지확률 곱셈의 합산을 통해 구하게 되며, 최종의 표적탐지확률이 문턱치 50% 이상일 경우 표적탐지 가능영역으로 간주한다.

다. 최적 배치 기법

다중상태 소나는 송신기, 표적, 수신기의 기하학적인 관계에 따라 소나의 성능과 특징이 변화하므로 탐지 성능 향상을 위한 송/수신기의 거리 및 수심의 최적 배치를 찾는 최적화 기법이 필요하다. 본 논문에서는 다중상태 소나의 기본이 되는 양상태 소나의 최적 배치를 통해 전체 소나망을 최적화하는 방법을 제안한다. 이 때 배치형태는 사용자의 운용 목적에 따라 구역 탐색 배치와 차단 탐색 배치를 고려하였다.

1) 양상태 소나의 최적 배치 유도

다수의 양상태 소나로 구성된 다중상태 소나의 최적화는 양상태 소나의 최적 배치를 통해 유도할 수 있다. 양상태 소나의 최적화는 최대 평균 탐지 영역을 갖는 송/수신기 수심 및 거리를 기반으로 유도한다. 이때 최대 평균 탐지영역은 탐지가능 구간들의 합산을 말하며, 동일 수심에 수신기를 배치한다는 조건하에 표적 활동 가능 심도를 다중으로 설정 후, 관심수심의 거리에 대한 최대 탐지 영역을 갖는 송신기 수심, 수신기 수심, 송수신기간 거리를 구한다. 이 때 관심수심은 z_1, z_2, z_3 를 고려하였다.

최적 송/수신기 수심 및 송/수신기간 이격거리를 구하는 과정은 아래의 식 (9)의 목적함수를 최대화하는 송신기의 수심(\hat{z}_s), 수신기 수심(\hat{z}_r), 송/수신기 이격거리($r = \sqrt{x^2 + y^2}$)를 구하는 것이다.

$$\arg \max_{\hat{z}_s, \hat{z}_r, \hat{x}, \hat{y}} [F(z_1, z_2, z_3)] \quad (9)$$

여기서, 목적함수 F 는 각 관심 수심에서의 표적 탐지 영역에 대한 산술 평균값이다.

$$F(z_1, z_2, z_3) = \frac{DR(z_1) + DR(z_2) + DR(z_3)}{3} \quad (10)$$

탐지영역 함수 DR은 식 (11)과 같이 나타낸다.

$$DR(z_t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Di(FOM, \hat{x}, \hat{y}, \hat{z}_r, \hat{z}_s, z_t) dx dy \quad (11)$$

$t = 1, 2, 3$

여기서,

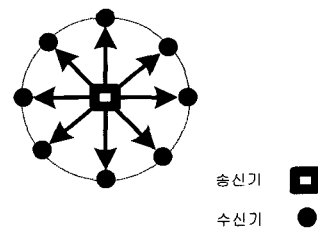
$$Di(FOM, \hat{x}, \hat{y}, \hat{z}_r, \hat{z}_s, z_t) = \begin{cases} 1 & P_D \geq 0.5 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

2) 운용목적에 따른 최적 배치

가) 구역탐색 배치

구역탐색 배치는 표적의 예상침투 등 사전 정보 없이 특정 관심영역의 표적을 탐지하는 배치로, 최대의 탐지 영역을 갖는 송/수신기의 배치형태를 유도해야 한다. 이 경우 다중상태 소나는 송신기 1개와 수신기 n개로 구성된 형태를 기본 배치로 한다.

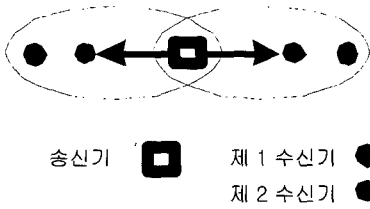
이 형태의 다중상태 소나에서는 양상태 소나의 탐지성능 및 특성이 배치에 중요한 요소로 작용하므로, 양상태 소나 최적배치 유도를 통해 송신기와 수신기의 수심과 이격거리를 결정한 후, 이를 바탕으로 그림 6과 같이 다중상태 소나의 기본 배치를 구성한다.



[그림 6] 구역탐색시 기본 배치

나) 차단탐색 배치

차단탐색 배치는 표적의 예상향로 및 공격 침투로에 대한 사전 정보를 통해 표적의 침투로를 차단하는 배치로, 최장 차단거리를 갖는 송/수신기의 배치형태가 필요하다. 이 경우 송/수신기의 배치는 방어 해역과 평행하게 배치하는 것이 효과적이며, 수신기를 송신기 기준 좌우로 선형 배치하는 것을 기본 배치로 한다.



[그림 7] 차단탐색시 기본 배치

이 때 최적의 송/수신기의 수심 및 송/수신기 사이의 이격거리는 구역 탐색 배치와 동일하게 구하며, 송신기를 기준으로 제 1 수신기(2초)를 최우선 배치하고, 제 1 수신기의 좌우로 추가로 수신기를 배치하는 방법으로 차단 길이를 극대화하였다.

3) 센서 손실에 따른 재배치

가) 구역탐색 배치

구역탐색 최적 배치시 다중상태 소나는 1개 송신기와 8개로 구성된 배치를 대상으로 한다. 이 때 수신기는 송신기를 중심으로 45도 간격의 동일각도로 배치되고, 최적 송/수신기의 이격거리와 배치심도는 양상태 소나가 이루는 최적 배치를 따른다.

최적화 상태에서 n개의 수신기가 손실된 경우, 수신기 재배치 방법은 송신기를 중심으로 잔여 수신기를 등각도로 재배치하는 것이다. 이러한 등각도 재배치 방법은 인접 수신기간에 과도한 탐지영역의 중복을 예방하고, 개별 양상태 소나의 고유탐지영역을 확장시킨다. 또한 임의방향으로 침입하는 잠수함에 대해 전방향으로 균등한 탐지영역을 보장하는 이점이 있다.

나) 차단탐색 배치

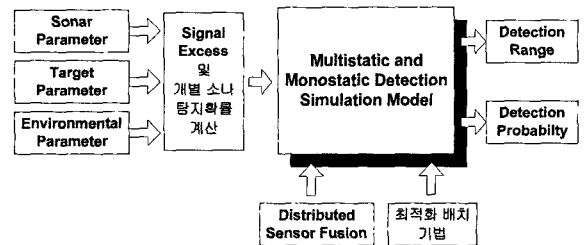
차단탐색 최적배치시 다중상태 소나는 송신기 1개를 중심으로 수신기 2개가 좌우에 있는 선형배치를 대상으로 한다. 이 때 송신기를 기준으로 좌우 1개씩 제 1 수신기가 배치되고, 제 2 수신기는 제 1 수신기의 -5km~5km거리에서 최대 평균 탐지거리를 갖는 위치에 배치한다. 제 1 수신기 배치시 송/수신기의 이격거리와 배치심도는 양상태 소나가 이루는 최적 배치를 따른다. 이 경우 손실에 따른 센서 재배치는 최대 탐지성능을 갖는 제 1 수신기를 최우선 복원하

는 방법이다. 이는 제 2 수신기 배치가 제 1 수신기의 차단거리를 바탕으로, 차단선을 신장시키기 때문이며, 제 1 수신기가 손실된 상태에서 제 2 수신기에 의한 차단거리는 축소될 수밖에 없기 때문이다.

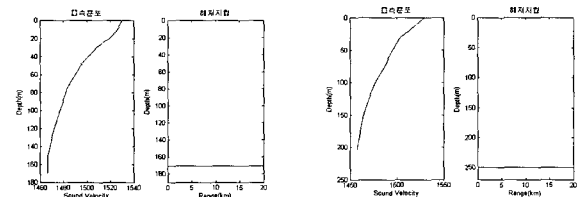
4. 다중상태 소나의 효과도 분석

이 장에서는 제안된 시뮬레이션 모델과 표적탐지 모델을 이용한 소나 성능 분석 모델을 기반으로 단상태 소나와 다중 상태 소나망의 효용성을 확인한다.

모의실험은 동해/포항해역을 대상으로 한다. 관심해역의 해양 정보는 그림 9와 같고, 이때 관심영역은 가로/세로 -15km~15km의 정사각형영역(30km×30km)을 사용하였고, 격자간 간격은 500m로 나누었다. 또한 각 격자마다 단일 표적이 존재한다고 가정하고 탐지성능을 측정하였다.



[그림 8] 다중상태 소나 성능분석모델



(a) 동해(SS 2, BL5) (b) 포항(SS 2, BL5)

[그림 9] 관심해역·음속 구조 및 해역정보

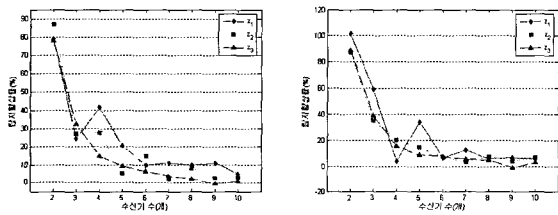
가. 단상태/다중상태 소나의 탐지성능 분석

1) 구역탐색 배치

본 실험은 구역탐색의 기본 원형배치에서 수신기 증가별 탐지성능 및 단상태 소나와의 탐지성능 비교를 통해 효과도를 분석한다.

가) 다중상태 소나의 수신기 증가별 성능분석
 다중상태 소나에서 수신기 증가는 탐지성능의 증가를 유발한다. 그러나 수신기 수를 무한히 증가시키는 것은 효율적이지 못하므로 적절한 수신기의 개수가 필요하다. 본 실험은 수신기의 개수 증가에 따른 적절한 수신기 수량을 분석한다.

그림 10에서 보듯이, 수신기 개수의 증가는 탐지격자의 증가를 유발시켰다. 그러나 수신기 증가별 탐지향상률은 점차적으로 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 전역적으로 탐지 향상율이 수렴하는 수신기의 개수를 구하지는 못하였지만, 수행 속도 및 성능 측면에서 수신기의 수가 8개인 것이 효율적인 것으로 판단하였다. 결국 구역탐색 배치시 다중상태 소나는 송신기 1개와 수신기 8개가 45도로 배치될 때 우수한 성능을 갖게 할 수 있게 된다.

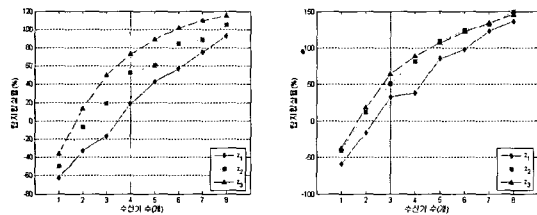


(a) 동해 (b) 포항
 [그림 10] 수신기 증가별 탐지 향상율

나) 단상태/다중상태 소나 성능 비교

본 실험은 다중상태 소나와 단상태 소나의 탐지성능 분석을 통해 다중상태 소나의 효과도를 확인한다.

그림 11은 단상태 소나의 다중 관심수심(z_1, z_2, z_3)에 대한 탐지성능(세로축 0점)을 기준으로 다중상태 소나의 수신기 증가에 대한 탐지 향상율을 나타낸 것



(a) 동해 (b) 포항
 [그림 11] 단상태/다중상태 성능 비교

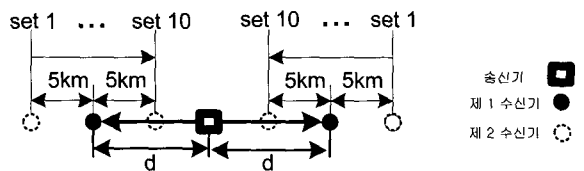
이다. 여기서 수신기 개수가 최소 4개 이상일 경우 모든 관심수심에서 단상태 소나보다 표적 탐지성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 이때 수신기 8개로 구성된 기본 배치는 단상태 소나보다 훨씬 우수한 탐지성능을 가질 수 있게 된다.

2) 차단탐색 배치

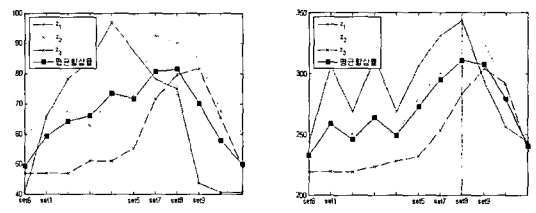
본 실험은 차단탐색에서 선형배치의 수신기 증가별 성능 및 단상태 소나와의 차단 길이를 비교 분석한다.

차단 배치시 수신기 증가에 따른 수신기의 배치방법은 그림 12와 같다. 최적의 양상태 소나의 송/수신기 수심과 이격거리를 이용하여, 송신기 좌우에 제 1 수신기를 배치 후, 제 2 수신기는 제 1 수신기의 -5km~5km 거리에 배치한다.

그림 13의 결과는 양상태 소나의 최적 배치결과(set 6)를 기준으로, 제 2 수신기 위치변화를 통한 차단거리 변화이다. 여기서 4개 수신기 배치시 제 2 수신기의 최적위치는 제 1 수신기의 외측인 set 8번으로 결정한다. set 8의 배치는 제 1 수신기(set 6)의 결과와 비교하여 각 수신별로 차단거리가 저하되지 않으면서 차단성능이 향상되는 배치이다. 또한 단상태 소나와의 비교시 다중상태 소나는 제 1 수신기만으로도 차단성능이 매우 우수함을 알 수 있다.



[그림 12] 차단 배치 수신기 배치 방법



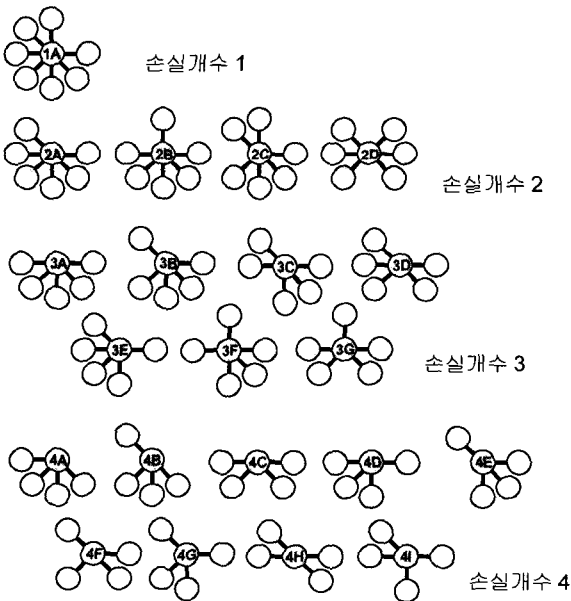
(a) 동해 (b) 포항
 [그림 13] 차단거리 비교

나. 센서 재배포 효과 분석

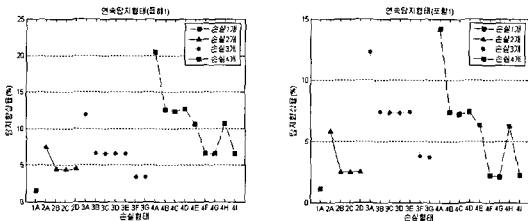
1) 구역탐색 배치

본 실험은 구역탐색의 기본 원형배치에서 수신기 손실을 4개까지 가정 후, 그림 14와 같은 손실 비복원 상태와 등각도 재배포치의 탐지성능을 통해 등각도 재배포치의 당위성을 확인하는 것이다.

그림 15는 센서 손실 상황에 따른 손실 비복원 형태와 등각도 재배포치형태의 탐지성능 비교결과이다. 관심해역 모두 수신기간 중복영역을 감소하기 위한 등각도 재배포치는 모든 경우에서 탐지성능이 향상되었다. 또한 2개 이상의 센서가 연속 손실시 재배포치의 효과가 우수하였으며 연속된 수신기의 손실 개수가 많을수록 매우 낮은 탐지 성능을 보였다.



[그림 14] 손실개수에 따른 손실 비복원상태

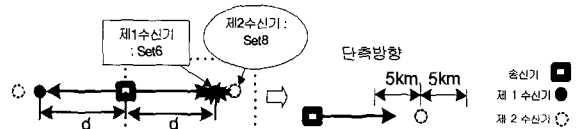


(a) 동해 (b) 포항
[그림 15] 재배포치 탐지율 변화

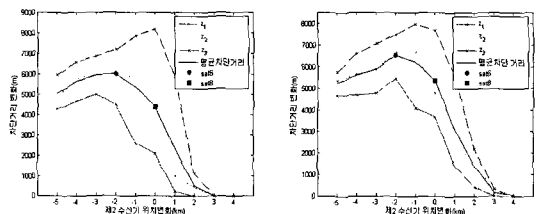
2) 차단탐색 배치

본 실험은 차단탐색의 기본 선형배치에서 제 1 수신기 손실을 가정하고, 제 2 수신기 위치변화를 통해 최적의 재배포치 위치를 찾음으로써 제 1 수신기 복원의 당위성을 확인하는 것이다.

그림 17은 수신기 4개로 구성된 차단탐색 배치에서, 제 1 수신기중 2번 수신기 손실을 가정(그림 17 참조)하고 제 2수신기인 4번 수신기 위치를 이동시키면서 최대 차단거리가 발생하는 위치를 찾은 결과이다. 이 경우 제 2 수신기(4번) 위치는 손실된 제 1 수신기(2번) 위치에 접근할수록 차단거리가 신장되었으며, 제 1수신기 위치시 최대 차단거리를 보이다가 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 제 2 수신기가 제 1 수신기의 차단선 미탐지 영역을 보완해주는 역할을 하기 때문이며, 제 1 수신기 손실시 제 2 수신기는 송신기와 관계에서 양상태 소나 최적 배치를 형성하지 못함으로 차단거리가 감소되는 것이다.



[그림 16] 제 2 수신기 재배포 방법(단측방향)



(a) 동해 (b) 포항
[그림 17] 제 2 수신기 위치에 따른 차단거리 변화

5. 결론

본 논문에서는 탐지성능에 근거한 다중상태 소나의 효과도를 분석하였다. 이때 정확하고 신뢰성 있는 탐지성능 분석을 위해 다중상태 소나에 적합한 시뮬레이션 모델과 표적탐지/배치모델을 제안하였다. 시뮬레

이선 모델은 실제 해양환경하의 음파전달 및 표적강도 특성을 다중상태 소나에 적합하게 변환하였다. 표적탐지/배치모델은 Bayesian 결정규칙을 통한 다중센서 융합기법, 양상태 소나 최적배치를 통한 소나망의 최적화 방법 및 센서 재배치 방법 성능향상 방법을 제안하였다. 제안된 모델을 토대로 다중상태 소나와 단상태 소나의 탐지성능 분석결과, 구역탐색 배치는 최소 4개 수신기의 등각도 배치만으로 동해 48% 및 포항 70%의 성능향상 보였으며, 차단탐색 배치는 최소 2개 수신기의 선형배치만으로 각각 49% 및 232%의 우수한 탐지성능을 보였다. 본 논문의 결과를 토대로 향후 다중상태 소나망을 기반으로 한 수중감시 시스템으로의 전환이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 수중음향 특화센터의 지원으로 이루어졌습니다.(UA-21)

참고 문헌

- [1] M. Swift et al. "An overview of the multistatic sonar program in Australia", ISSPA 99, pp. 321~324, Aug, 1999.
- [2] 해군본부 외, 수상함용 능동소나 음탐환경 분석체계 사용자 설명서, 2001. 12.
- [3] Robert J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [4] P. K. Varshney, *Distributed Detection and Data Fusion*, Springer, 1996.
- [5] Alan R. Washburn. *Search and Detection*, 2nd ed., ORSA, 1989.