

능동소나에서 단일 핑에의한 표적상태분석

Target State Analysis Based on a Single Ping in Active Sonar

김 재 수*
(Jea Soo Kim*)

요 약

능동소나운용의 목적은 표적의 탐지 뿐만 아니라, 필요한 경우에는 표적의 분류 및 상태분석을 하는 데에 있다. 본 연구에서는, 3차원 해양환경에서 움직이는 표적의 표적상태를 분석하는 알고리즘에 관하여 2가지 방법을 알고리즘의 적용 가능한 조건의 분석과 시뮬레이션을 통해 장단점을 비교하고 표적상태 분석방법론의 방향을 제시하였다.

표적상태 분석방법은 거리에 따른 표적의 방위에 의한 방법, Range-Doppler Map을 이용하는 방법, 그리고 표적의 제적을 사용하는 방법으로 구분될 수 있다. R-D Map은 소나 또는 표적이 움직이는 경우에만 적용할 수 있으며, 거리에 대한 표적의 방위각은 정지한 표적 또는 움직이는 표적에 모두 적용할 수 있다. 움직이는 표적의 제적에 의한 표적상태 추정 은 소나의 자체운동에 의한 제적의 정보가 필수적이다. 시뮬레이션 결과와 장단점의 비교에 의하면 2가지의 방법은 독립적인 것이 아니라 서로 보완적으로 사용되어야 할 것으로 결론지어 진다.

ABSTRACT

In this paper, the techniques for target state analysis based on a single ping in the ocean environment are proposed and discussed. The first method utilizes the relationship between range and bearing in order to determine the aspect angle of target. The second method uses the Range-Doppler Map. The former method requires the multi-channel data, while the latter uses single channel data. It is concluded, from the simulation, that the target state analysis is quite possible and the techniques mentioned should be used simultaneously to get the improved results.

I. 표적상태분석에 대한 개론

최근 수중음향의 요소기술의 발달로 수중의 자함체는 추진기관에 의한 방사소음을 크게 줄이게 되었고, 능동 소나에 대해서는 흡음기술의 발달로 표적강도를 크게 줄여 더욱 정밀하고 고도화된 표적탐지 및 표적상태 분석 기술이 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는, 3차원 해양환경에서 움직이는 표적의 표적상태를 분석하는 두 개의 알고리즘에 관하여 알고리즘의 적용 가능한 조건의 분석과 시뮬레이션을 통해 장단점을 비교하고 표적상태 분석에 대한 방법론의 방향을 제시하였다.

단일 핑에 근거한 표적상태 추정방법론은 Range-Bearing의 관계를 이용하는 방법, Range-Doppler Map을 사용하는 방법으로 구분될 수 있다. R-D Map은 소나 또는 표적이 움직이는 경우에만 적용할 수 있으며, Range-Bearing 관계는 정지한 표적 또는 움직이는 표적에 모두 적용할 수 있다. 움직이는 표적에 대한 연속된 핑에 의한 표적상

태분석은 소나의 자체운동에 의한 제적이 알려진 경우 단일 핑에 의한 방법보다 안정된 분석방법을 제시하지만 결국은 단일 핑에 의한 방법론에 기반을 두기 때문에, 본 연구에서는 단일 핑에 의한 표적상태추정에 국한하기로 한다.

본 연구에서, 표적상태추정 시뮬레이션을 위해서는 고성능 표적신호발생기가 필요한데, 표적신호의 시뮬레이션을 위한 표적신호의 특성으로는 표적강도, 주파수 천이 특성, 그리고 표적신호의 신장 등이 알려져 있다. 이러한 표적신호의 특성을 재현하여 소나의 개발에 사용되고 있는 알려진 표적신호의 모델[1-5]은 많지만 대부분이 기술 보호적인 측면에서 독자적인 모델을 개발 운용하고 있다. 본 연구에서는 지난 수년간 개발되고 검증되어온 MOST 신호합성기[6-8]를 사용하였다.

II. 표적신호발생 알고리즘과 수치예제

이미 발표된 MOST 신호발생기[7]는 highlight(이하 HL) 개념을 사용하여, 각 HL에서 표적신호의 산란신호가 반사되어 그의 함으로 표현되는 방법을 사용하였다. 자세

*한국해양대학교

접수일자: 1996년 5월 16일

한 내용은 기존에 발표된 논문에 설명되어 있으므로 여기에서는 주파수영역에서 합성하는 방법에 대해 설명하기로 한다. 기존의 방법에서는, 시간영역에서 도플러효과를 고려한 소위 modified convolution에 의해 구해졌으나 여기에서는 주파수영역에서 합성하는 방법을 사용하였다. 주파수영역에서 합성하는 방법에 대하여 간략히 설명하기 위해 그림 1에 음원과 표적의 HL에 대한 개략도를 보면, 여기에서, 시간 t_1 은 수중에서 움직이는 음원에서 ping을 내보내는 순간의 시간이며, t_2 는 음원을 떠난 신호가 표적의 특정 HL에 입사하는 시간을 나타낸다. 시간 t_3 에 표적에 입사된 신호는 바로 반사되어 움직이는 음원의 새로운 좌표에 시간 t_3 에 도착한다. 직선 AB는 표적의 궤도를 나타내며, 직선 CD는 음원의 궤적을 나타낸다. (x_s, y_s, z_s) 좌표계는 음원에 고정된 좌표계이고, (x_r, y_r, z_r) 는 표적에 부착된 좌표계이며, (x, y, z) 는 지구에 고정된 좌표계를 나타낸다.

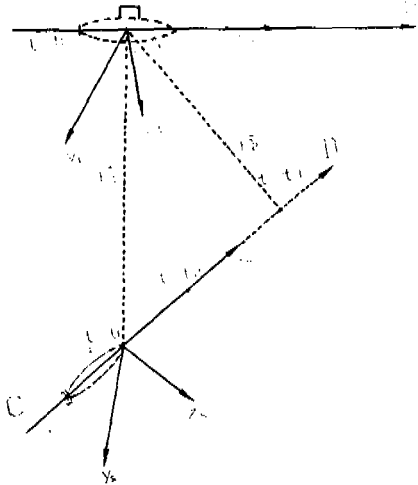


그림 1. 음원과 표적의 좌표계

그림 1에서, 움직이는 음원과 표적에 의한 주파수천이는 다음과 같다.

$$f_{d,j} = f_0 \cdot \frac{c + \vec{v}_{i,2} \cdot \vec{n}_{j,2}}{c - \vec{v}_{s,1} \cdot \vec{n}_{j,1}} \cdot \frac{c + \vec{v}_{s,3} \cdot \vec{n}_{j,4}}{c - \vec{v}_{i,2} \cdot \vec{n}_{j,3}} \quad (1)$$

여기에서, t_1, t_2, t_3 는 각각 그림 1에서 송신 펄이 음원을 떠나는 시간, 송신 펄이 표적의 j 번째 HL에 입사되는 시간, 표적의 j 번째 HL에서 산란된 신호가 새로운 위치의 음원에 수신되는 시간을 나타낸다. $f_{d,j}$ 와 f_0 는 각각 j 번째 HL에서의 주파수천이와 송신주파수를 나타내며, $\vec{v}_{s,1}$ 과 $\vec{v}_{i,2}, \vec{v}_{s,3}$ 는 각각 시간 $t=t_1, t=t_2, t=t_3$ 에서 음원의 속도를 나타낸다. 식(1)에서 단위벡터는 각각 다음과 같이 정의된다.

- $\vec{n}_{j,1}$: 시간 $t=t_1$ 에 음원위치에서 $t=t_2$ 에서의 표적의 j 번째 HL를 향한 단위벡터,
- $\vec{n}_{j,2}$: 시간 $t=t_2$ 에 표적의 j 번째 HL위치에서 $t=t_1$ 에서의 음원을 향한 단위벡터,
- $\vec{n}_{j,3}$: 시간 $t=t_2$ 에 표적의 j 번째 HL위치에서 $t=t_3$ 에서의 음원을 향한 단위벡터,
- $\vec{n}_{j,4}$: 시간 $t=t_3$ 에 음원위치에서 $t=t_2$ 에서의 표적의 j 번째 HL를 향한 단위벡터.

또한, 음원을 떠난 신호가 표적에서 반사되어 도달되는 데에 걸린 시간은 파수보존법칙에 의해 구할 수 있다. 결국, 어느 위치에 있는 i 번째의 HL에 의해 수신된 신호 $r_i(t)$ 는 도플러에 의한 수축 또는 신장된 신호 $s_{d,i}(t)$ 와 $h_i(t)$ 의 컨볼루션에 의해 구해진다. 따라서, 수신된 신호는 모든 HL로부터의 합으로 표현되므로,

$$r(t) = \sum_{i=1}^N s_{d,i}(t) * h_i(t) \quad (2)$$

주파수 영역에서는

$$R(f) = \sum_{i=1}^N S_{d,i}(f) \cdot H_i(f) \quad (3)$$

여기에서, $S_i(f)$ 는 신호의 신장 또는 수축을 고려하고 도플러를 준 송신신호의 m 를 사용하고, HL의 위치에 의한 시지연을 주기 위해 다음과 같은 전달함수를 사용한다.

$$H_i(f) = \exp(-2\pi f t_{i,31}) \quad (4)$$

여기에서, 위상에 의한 표적의 방위분석을 위해 4개의 채널을 사용하는데, 채널간의 시지연은 \vec{r}_2 를 사용하여 쉽게 구할 수 있다.

이상과 같은 알고리즘을 사용하여 수치적인 예제를 들기 위해 음원과 표적을 그림 2와 같이 배치된 경우를 고려하였다. 음원은 지구에 고정된 좌표계에서 $(0, 100, 100)$ 에 위치하고, x-축의 양의 방향으로 20노트로 움직이고 있으며, 표적의 중심은 $(200, 100, 130)$ 에 위치하고, 10노트의 속도로 움직이고 있다.

그림 2에서와 같은 배치에서 발생된 표적신호는 그림 3과 같다. 이 그림에서 4채널의 신호는 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 간격을

두고 상하좌우에 각각 배치된 4채널에서 수신된 신호를 나타낸다. 여기에서 사용된 주파수는 60kHz를 사용하였으며 펄의 지속시간은 15ms이다. 소나로부터 가장 가까운 위치의 표적부분은 약 172m로 신호가 도착되기 시작하는 시간은 0.229초쯤 된다. 표적의 가장 먼 부분은 241m로 도달시간이 약 0.322초이므로 ping duration 0.015초를 더 하면 0.337초에 표적신호가 끝나게 된다. 소나는 표적의 근접거리(near field)에 있기 때문에 각 채널마다 신호가

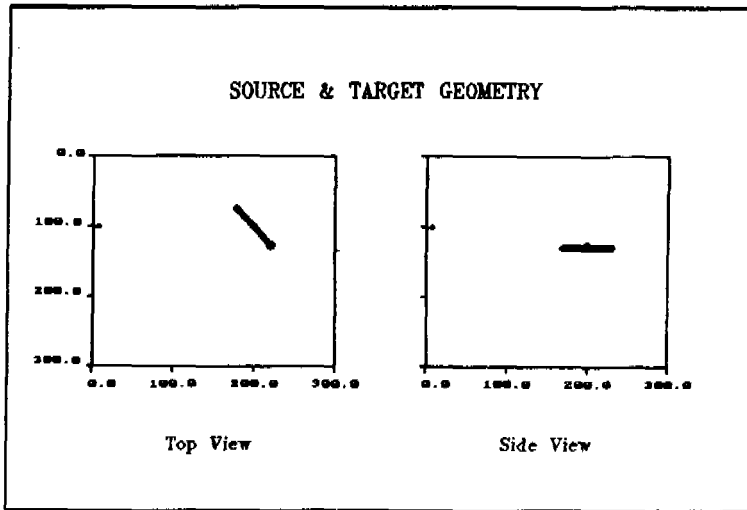


그림 2 음원과 표적의 배치도

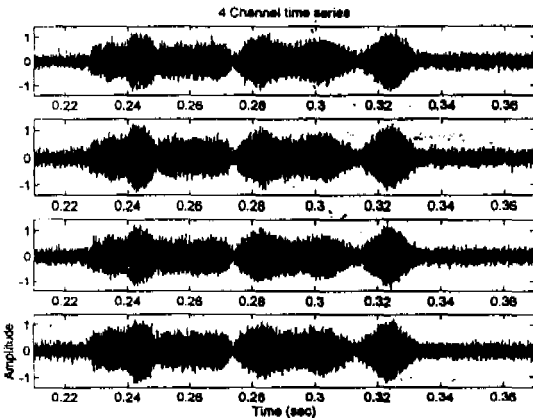


그림 3. 4채널 표적신호

조금씩 달라짐을 관측할 수 있다. 여기에서는 또한 표적 신호에 정규분포의 백색잡음을 주었는데 신호대잡음비는 10dB이다.

III. Range-Bearing Map

앞에서의 조건을 사용하여 Range-Bearing 관계들 구하면 그림 4와 같고, 이불 공분산행렬[9]에 의해 표적의 상태를 구하면 그림 5와 같다. 거리에 대한 방위각은 수평과 수직방향의 두 개의 각이 존재하는데, 수평방위각을 구하기 위해서 좌우에 있는 상하 채널을 합하여 모노펄스이론에 근거하여 방위추정을 하였다. 수직방위각을 구하기 위해서는 상하에 있는 좌우 채널을 합하여 같은 방

법으로 구하였다. 각 시간창(time window)의 크기는 0.01초로 하였고, 0.002초씩 움직이며 방위추정을 하였기 때문에 창 of 총 수는 71개가 된다. 그림 4에서 x-축의 시간은 쉽게 거리로 환산될 수 있으며 수평각과 수직방위각을 알기 때문에 각 거리에 대한 정확한 3차원적인 위치를 알 수 있다. 이 71개의 위치정보로부터 주된 방향(principal axis)을 찾기 위해 공분산행렬(covariance matrix)을 만들 수 있고 이로부터 표적의 배열방향을 그림 5와 같이 추정할 수 있다[8].

그림 5에서 보는 표적의 배열방향은 그림 2에 주어진 표적의 상태와 일치함을 알 수 있다.

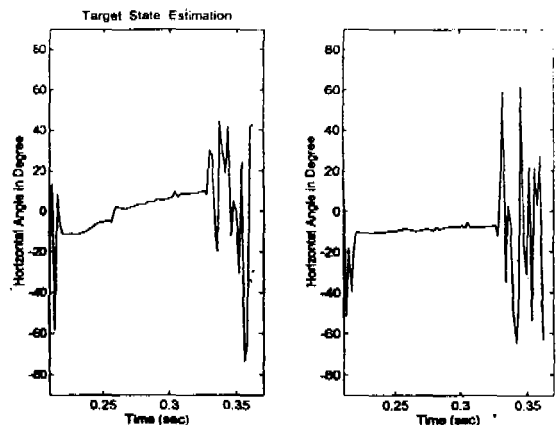


그림 4. 거리에 대한 표적의 수평 및 수직 방위각

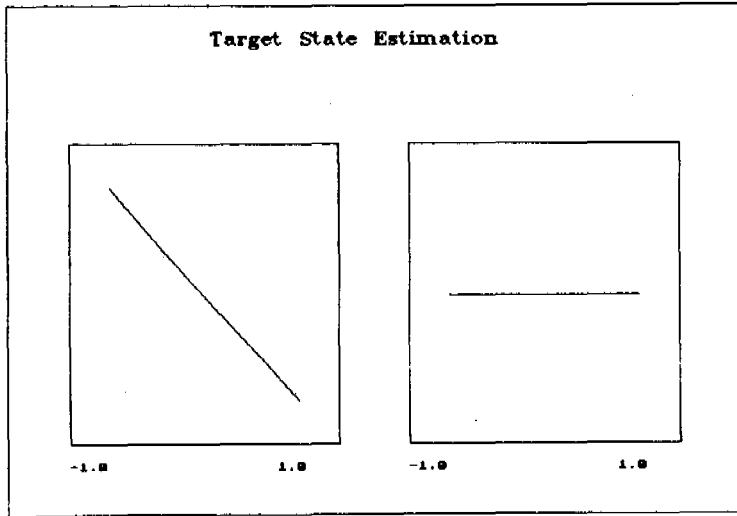


그림 5. 공분산행렬에 의한 표적상태

IV. Range-Doppler Map

앞에서는 시간에 따른 표적의 방위각을 이용하기 때문에 다중채널의 신호가 필요한 반면, R-D Map의 원리는, 표적이 그림 2와 같이 공간상에 분포하기 때문에 소나 또는/그리고 표적이 움직이는 경우 각 HL에 해당되는 산란점들이 각각 다른 도플러천이를 나타내는 것을 이용한다. 여기에서의 문제는 주어진 R-D Map으로부터 표적의 상태를 유일하게 추정할 수 있느냐 하는 것이다. 표적의 중심위치가 주어진 경우(이는 표적이 탐지되면 방위추정으로부터 표적의 위치는 어렵지 않게 계산할 수 있다.)에는, 특정시간에 도달하는 신호의 주파수천이는 단지 표적의 배열각도와 표적 및 음원(소나)의 속도의 함수가 된다. 소나 자체의 속도는 자신의 복반사신호로부터 쉽게 계산할 수 있으므로 변수는 표적 자체에만 관련된다. 나아가서, 표적이 수평각을 유지한다고 가정하면, 표적의 배열각은 수평방향의 각만이 남게된다. 즉, 주파수천이는

$$f_{observed} = g(\theta_z, \vec{v}_t) \tag{5}$$

와 같이 표현되고, 표적의 속도방향이 배열방향과 같다면, 즉 표류에 의한 영향을 무시하면 주파수천이는 단지 두 개의 스칼라양, 즉 표적의 z-축에 대한 Euler 각과 표적의 속도에 대한 함수가 된다. 그림 6에는 15도부터 90도의 Euler각에 대해 표적의 속도를 -20노트부터 20노트까지 10노트간격으로 변화 하면서 R-D Map을 작성하였다. 그림 3에 주어진 표적신호에 대한 R-D Map은 그림 7과 같으며, 그림 7에서의 contour는 그림 3으로부터 구하였고 실제로 그려진 선은 그림 6에서 $\theta_z=45^\circ, v_t=10$ kts

에 해당되어 표적의 상태를 추정할 수 있음을 보여준다.

V. 요약 및 결론

표적상태 분석방법은 크게 두가지로 나누어 진다. 첫 번째의 방법은, 음원의 궤적이 알려진 경우 표적신호의 도달시간을 알면 음원에 대한 표적의 상대적인 위치를 알게 된다. 또한 고정좌표계에 대한 음원의 위치와 방위각(즉, Euler 각)을 알면 고정좌표계에서의 표적의 중심의 좌표를 오일러변환을 사용하여 계산할 수 있다. 수중의 대형표적의 경우 표류의 양이 많지 않음을 감안하면 궤적의 진행방향이 바로 표적의 배열방향을 나타내므로 이로부터 표적의 속도 및 자세각을 추정할 수 있다. 두 번째

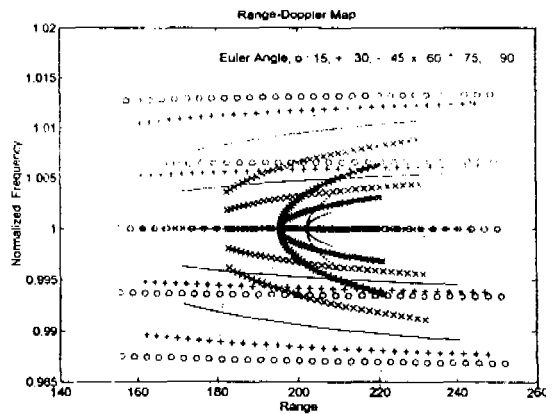


그림 6. 표적상태에 따른 R-D Map

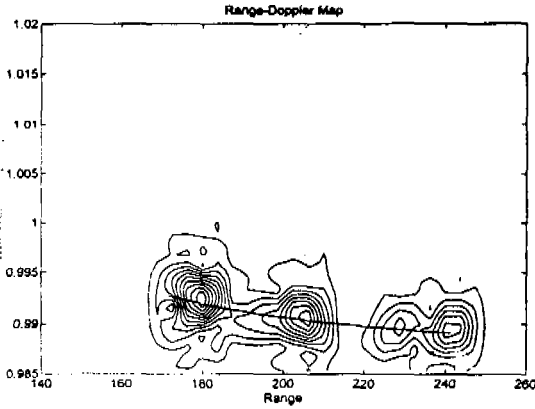


그림 7. 그림 3의 표적신호에 대한 R-D Map

의 방법론, 단일 핑으로부터 표적의 상태를 추정하는 것이다. 본 논문에서는 단일 핑으로부터 표적의 상태, 즉 표적의 속도와 자세각을 추정하는 두가지 방법론, 즉 거리에 대한 방위정보와 R-D Map의 장단점과 적용가능성을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 표적상태를 추정할 수 있음을 보였다.

거리에 따른 방위각의 정보를 사용하는 경우 표적상태는 음원과 표적의 속도여부에 관계없이 추정이 가능하다. 반면, R-D Map을 사용하는 경우에는 음원과 표적이 움직이지 않을 경우 사용이 불가능하다. 음원과 표적이 모두 움직이는 경우 R-D Map은 3차원 운동을 평면위에 옮겨 놓았기 때문에 표적의 상태추정에서, 표적이 수평을 유지할 경우, 두가지의 가능성을 준다. 따라서, 표적상태분석에서는 거리에 대한 방위정보외에 R-D Map을 사용하면 표적의 속도를 좀더 정확하게 추정할 수 있다.

※본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원에 의하여 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

1. J. C. Bol, "Some Developments in Simulating SONAR Targets," UDT Conference Proceedings, pp.637-642, London, England, Oct. 1988.
2. S.G. Chamberlin and A.M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modelling for Torpedo Terminal Homing Simulation", Electronic Progress, Vol. XXIV, No.1, Spring, pp.19-22, Raytheon Company, 1982.
3. D.L. Folds, and N.F. Anderson, "High Resolution SONAR Simulation Techniques", Technical Report Number NCSR-TR-322-77, Naval Coastal Systems Laboratory, Panama City, Florida, USA, 1977.
4. R. Ludwig, L. Hogrefe, and W. Tietz, "Acoustic Underwater Target System," UDT Conference Proceedings, pp.864-869,

Paris, France, April 1991.

5. D.E. Nelson, A Statistical Scattering Model for Time-Spread SONAR Targets, Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical Eng., Univ. of Rochester, Rochester, New York, U.S.A., 1975.
6. 김재수, 성낙진, 이상영, 김 강, 유명중, 조운현, "표적신호 시뮬레이션 요소로서 원통형 물수체의 충격응답의 특성," 한국음향학회지, 13권 2E호, pp.5-13, 1994.
7. 성낙진, 김재수, 이상영, 김 강, "능동 표적신호 합성," 한국음향학회지, 13권 2호, pp.30-37, 1994.
8. 이창호, 김재수, 이상영, 김강, 오원천, 조운현, "공분산 행렬 분석기법을 이용한 모노펄스 소나 표적상태추정 성능 향상 기법," 한국음향학회지, 15권 제1호, pp.34-39, 1996.
9. A. Benhama, C. Cllet, M. Dubesset, "Study and application of spatial directional filtering in three-component recordings," Geophysical Prospecting 36, pp.591-613, 1988.

▲김 재 수(Jea Soo Kim)

현재: 한국해양대학교 조선해양공학부

(1996년 15권 제1호 참조)