

능동 표적 신호 합성기

MOVing Spread Target signal simulation

성낙진*, 김재수*, 이상영**, 김강**

요약

최근 표적의 고속화와 저표적강도화 추세에 따라 표적 탐지의 정확성이 요구되고 있다. 본 연구는 이에 부합하는 표적 운동 해석, 표적 분류, 소나 성능 예측 모델의 개발에 필수적인 표적 산란 잔향 신호의 주파수 및 시간별 특성의 파악과 그러한 특성을 포함한 표적 신호 시뮬레이션에 목적을 두고 있다.

표적 신호 시뮬레이션에는 음향 변환자 배열의 음원 준위와 빔패턴으로 구성되는 음원모델, 전달 손실 예측부인 환경모델, 복합 표적에 의한 신호의 신장 및 표적 강도와 음원과 표적의 상대운동을 표현하는 도플러 현상이 고려된 표적모델, 수신기의 감도 및 빔패턴과 각 채널의 시간 지연이 고려된 수신 모델 등 주요한 4부분의 모델이 필요하다. 개발된 MOST(MOVing Spread Target signal simulation) 신호 합성기는 환경모델을 제외한 3가지 모델로 구성되어 있으며, 음원과 표적의 운동에 의한 신호 특성 시뮬레이션 등의 기능을 갖추고 있어 소나 운용 체계 개발의 한 단계인 HILS와 표적 상태 추정을 위한 신호 특성 분석 및 앞에서 언급한 각종 모델에서 신호 발생 장치로 이용될 수 있다.

I. 서론

능동 표적신호 합성모델은 소나체계의 개발시에 가상표적의 역할을 수행함과 동시에 개발된 소나의 성능평가 및 소나 운용자의 훈련에 없어서는 안될 필수 장치이므로 표적신호 합성에 대한 수중음향적인 측면에서 많은 연구노력이 이루어지고 있다.

미국해군의 지원하에 Raytheon의 Submarine Signal Divison에서 소나체계 개발 및 운용의 목적으로 개발한 CATEM (Coherent Acoustic Target and Environment Model) [1], 독일해군의 지원하에 연구기관인 Honeywell-ELAC-Nautic GmbH에서 함대의 표적탐지 훈련용으로 개발한 UZD [2], Royal Netherlands Navy의 지원하에 TNO의 Physics and Electronics Laboratory에서 호위함 소나 운용자의 교육 및 소나체계 개발과 시험에 목적을 두고 개발한 BOT System [3] 등이 이미 실용 상태에 있으나 실제 학회에 발표되는 논문들

은 표적에 의한 산란문제를 이론적으로 다루고 있을 뿐 이를 표적신호 합성에 직접적으로 적용한 예는 찾아보기 어려운 현실이다. 자국의 기술보호 측면에서 학회에 발표되는 논문외에 선진국들이 독자 폐쇄적인 연구를 수행하고 있기 때문에 표적신호 합성기의 자체 개발이 불가피하다.

표적신호 합성의 연구 대상은 크게 음향변환자, 환경, 표적, 수신부로 구성되며 음향변환자 모델은 주어진 음원 준위에 대한 전달 빔패턴의 방향손실을 계산하는 부분으로 Taylor 지향특성에 섭동법의 적용과 근접이론인 Linear Regression을 적용하여 설계하며, 환경 모델에서는 표적 산란 신호의 전달손실과 다중경로 효과의 고려에 목적을 두고 있으며 실시간 처리를 위해 실험식 [4]의 사용과 GSM(Generic SONAR Model) 등의 활용이 가능하며, 표적모델은 크게 단위표적의 충격응답, 복합표적의 기하학상 위치 및 표적의 운동을 고려한 단위표적들의 도플러량을 계산하여 조합하는 복합표적의 충격응답, 마지막으로 Incident Ping과 각각의 표적강도와 방향성을 가진 복합표적의 충격응답과의 Modified Convolution을 통하여 가상적인 표적 산란 간향신호를 산출하는 세 부분으로 구성되며, 수신 모델은 음향변환자 모델과 유사한 방법을 적용해 수신기의 감도 및 수신 빔패턴과 빔패턴에 의한 방향손실, 각 채널의 시간지연을 계산하는 부분으로 구성된다.

2절에서는 표적신호 합성을 위한 이론적 배경을 기술하고, 3절에서는 개발한 MOST 신호합성기의 알고리즘 중 표적모델의 핵심 부분인 표적에 의한 산란문제와 도플러효과를 중점적으로 다루고 4절에서는 MOST 신호 합성기를 사용한 표적신호의 예를 들며 마지막 5절에서는 표적신호 합성에 대해 전반적인 문제점과 개선사항을 제시하고자 한다.

II. 표적신호 시뮬레이션 이론

표적신호 시뮬레이션에 있어서 시뮬레이션 결과가 단지 기존의 탐지기에 사용된다면 표적신호에 도플러를 포함시킬 필요가 없다. 그러나 표적신호를 사용하여 표적의 속도 추정까지를 하고자 한다면 표적신호는 도플러 효과를 성공적으로 재현할 수 있어야 한다. 나아가서, 표적상태 추정을 펄스신장과 각 위치에서의 도플러에 의한 주파수 변화량과 채널간 상관관계를 이용하려 한다면 표적에서의 펄스신장을 실험 또는 해석적인 방법에 의하여 어떻게 일어나는지를 예측하여 충실히 재현할 수 있어야 하며 이는 물리적인 현상의 이해가 선행될 때 가능하다. 전반사인 경우에는 단위표적 모델에 근접하나, 표적의 형태가 단순하지 않아 표적신호가 입사신호와 달리 왜곡되어 반사되는 경우와 표적의 경계가 Rigid나 Soft가 아닌 경우에는 표적에 입사하는 음향에너지가 표적에 전달되어 내부전달 경로를 거치면서 다시 방사되는 더욱 복잡한 현상이 관찰된다. 이런 이유에서 관심있는 표적의 반사는 후자의 경우로 조합표적이 되어야 한다. 현재까지 알려진 바에 의하면 표적의 자세각이 2° 가량 변화하면 반사음장은 급격히 변화하고 [5], 해양환경의 변화는 고주파를 사용하는 경우 표적신호에 랜덤성을 더하게 되어 구조물에 의한 해석적인 방법이 가능할 지라도 해석적인 과정을 통해 결정한 해를 적용하는 것은 그다지 의미가 없다. 그렇다면 특성을 유지하면서 표적신호를 재현할 수 있는가. 협대역 신호인 경우에는 가정에 의해 표적신호는 입사신호와 표적의

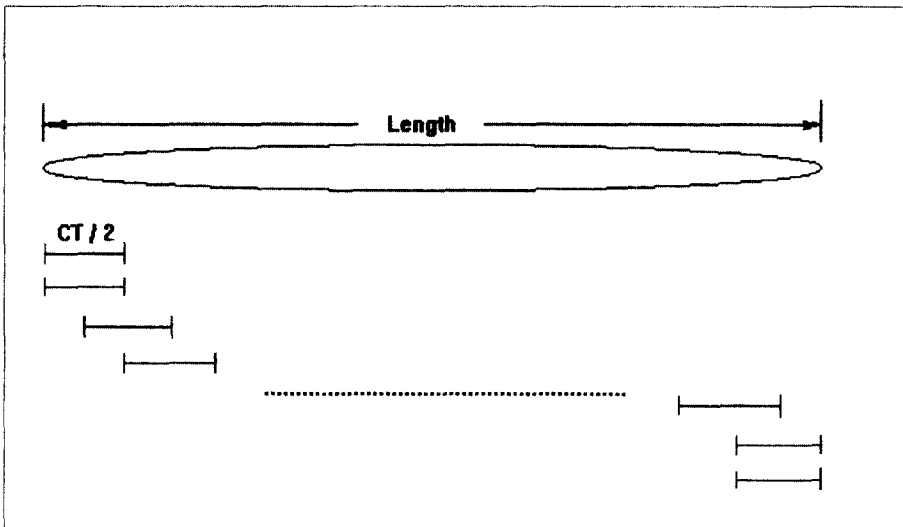
충격응답의 Modified Convolution에 의해 표현될 수 있다는 것이다. 표적의 충격응답은 단위표적, 즉 Highlight(이하 HL)의 조합으로 표현한다.

확률분포를 통해 HL의 간격과 크기를 통계적으로 근사시켜 각각의 HL에 도플러와 상관손실(Correlation Loss)을 고려한 Spread Target Model을 제시한다.

III. 표적신호 합성모델 MOST알고리즘

3.1 HL의 분포

수조실험이나 기존의 외국자료를 유추하여 보면 HL의 분포는 조합표적으로 신호간섭이 일어나고 [6], 모든 수신된 신호에서 신호간섭을 표현하기 위해서는 최소한 $d = cT/4$ (여기에서 c 는 음속, T 는 펄스폭)마다 HL이 설치되어야 하며 길이 L 인 표적의 경우 최소한 $N = \frac{4L}{cT} + 3$ 개의 HL이 필요하다. 3을 더하는 이유는 길이방향 전체에 HL을 주기 위해 1을 더하고 2는 수신신호의 시작부분과 끝부분에 간섭 현상을 주기 위함이다. 실제 표적에서처럼 랜덤성을 띤 Fluctuation을 하려면 HL의 중심위치를 기준으로 무작위 위상변화를 주어야 한다. 여기에서는 HL이 중심위치에서 $|x| \leq \frac{d}{4}$ 범위 안에서 랜덤 또는 3-시그마 한계인 $\sigma \leq \frac{d}{12}$ 의 표준편차로 가우스 분포를 갖도록 하였다.



3.2 HL의 방향성 및 표적강도

각 표적의 HL은 Sinc 함수 형태의 방향성을 갖게 되며 내부구조물의 종류에 따라 각기 다른 Sinc 함수의 주기를 준다. 선수, 선미, 상구조물에 의한 반사는 방향성이 거의 없으나 튜브 등과 같은 내부의 공동은 산란 특성이 약간의

방향성을 가지리라 기대되며 선각에 의한 반사 특성은 상당히 높은 방향성을 가지리라 기대된다. 따라서 표적 신호의 방향성 분포에 대한 모델은 다음과 같이 가정한다 [5].

$$B(\theta, m) = \frac{\sin(m\theta)}{m\theta} = \text{Sinc}(m\theta)$$

여기에서 m 은 구조물의 종류에 따라 실험적으로 결정되는 것이 타당하다. m 이 커지는 경우에 방향성은 표적강도에 가우스 분포를 주는 것과 같은 효과가 있으며 표적강도의 분포와 함께 Fluctuating (또는, Scintillating) 표적을 모델링하게 된다. 표적강도는 Far Field의 조건하에 묘사한 여러 문헌에서 찾아 볼 수 있다. 표적강도는 일반적으로 표적의 종류, 표적의 자세각 및 펄스 폭에 영향을 받는다. 본 연구에서는 특정 표적의 표적강도 및 분포특성이 시뮬레이션될 수 있도록 하였다. 즉, 각 HL의 방향성 뿐만 아니라, 표적강도를 지정하여 그 표적강도는 주어진 표준편차로 가우스 분포가 되도록 하였다.

3.3 도플러

현재까지 입수 가능한 문헌은 도플러 모델링에 대한 언급이 이루어지지 않고 있으며, 이는 기존의 모델링이 표적상태 추정까지는 생각하지 않았음을 나타낸다. 음원과 표적이 상대운동하는 상황에서 펄스폭에 따라 각기 다른 도플러가 연속적으로 발생하나 관심있는 표적의 경우 거동의 순간적 변화를 일어나기란 거의 불가능한 상태여서 펄스의 앞과 뒤는 선형적인 주파수 변화를 가져온다고 볼 수 있다. 아래에 도플러 주파수와 보존법칙에 의해 변화된 펄스폭을 계산하는 방법을 제시한다.

$$F_a = F(\vec{V}_{i_j} \cdot \vec{n}, \vec{V}_{s_j} \cdot \vec{n}, C, T_o, F_o)$$

$$F_a = \frac{C + \vec{V}_{i_j} \cdot \vec{n}}{C - \vec{V}_{s_j} \cdot \vec{n}} \cdot \frac{C + \vec{V}_{s_j} \cdot \vec{n}}{C - \vec{V}_{i_j} \cdot \vec{n}} \cdot F_o$$

$$T_d = \frac{2F_o}{F_a + F_a} \cdot T_o$$

$$F_d(t) = F_a + \frac{F_a - F_a}{T_d} \cdot t$$

- i : 1:펄스의 앞부분, 2:펄스의 뒷부분
- j : 1:음원을 떠날 때, 2:수신부에 도달할 때
- TO : 원래의 펄스 폭
- C : 음파의 speed
- Fo : 도플러가 일어나기 전의 주파수
- Fd : 도플러가 일어난 후 주파수
- \vec{n} : 음원-표적의 Line of Sight
- \vec{V}_i : 전체좌표계에 대한 표적의 속도
- \vec{V}_s : 전체좌표계에 대한 음원의 속도

3.4 도달시간

음파가 표적에 도달할 때	음파가 수신부에 도달할 때
$PP(n) = t(n) \cdot C$	$PP(n) = (t(n) - AT1) \cdot C$
$PP(n+1) = t(n+1) \cdot C$	$PP(n+1) = (t(n+1) - AT1) \cdot C$
if($STR(n) \geq PP(n)$ and $STR(n+1) < PP(n+1)$)	if($TSR(n) \geq PP(n)$ and $TSR(n+1) < PP(n+1)$)
$DT = \frac{STR(n) - PP(n)}{PP(n+1) - PP(n) - STR(n+1) + STR(n)} \cdot G/C \text{ time}$	$DT = \frac{TSR(n) - PP(n)}{PP(n+1) - PP(n) - TSR(n+1) + TSR(n)} \cdot G/C \text{ time}$
$TRp = TR(n) + TVEL(n) \cdot DT$	$SRp = SR(n) + SVEL(n) \cdot DT$
$AT1 = t(n) + DT$	$AT2 = t(n) - AT1 + DT$
endif	endif

음파가 음원을 떠나 표적에 맞을 때까지의 경로와, 표적의 각 HL에 맞은 잔향신호가 수신부에 돌아오는 경로에 대하여 살펴보자. 음원을 떠난 음파가 표적에 도달할 때까지 도달시간은 초기 음원의 위치와 표적과 음파의 운동에 의하여 결정되고 표적에 맞은 음파가 수신부에 들어 올 때까지 소요된 시간은 음파에 맞았을 때 표적의 위치와 음파가 현재 수신부에 도달할 때의 위치와 음속(C)의 함수이다. 위의 알고리즘에 의하여 음파가 음원을 떠난 후 단위표적에 맞고 수신부에 돌아올 때까지 소요된 시간은 $AT = AT1 + AT2$ 임을 알 수 있다.

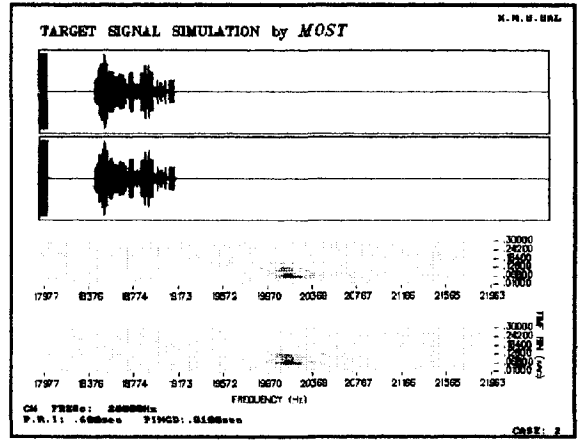
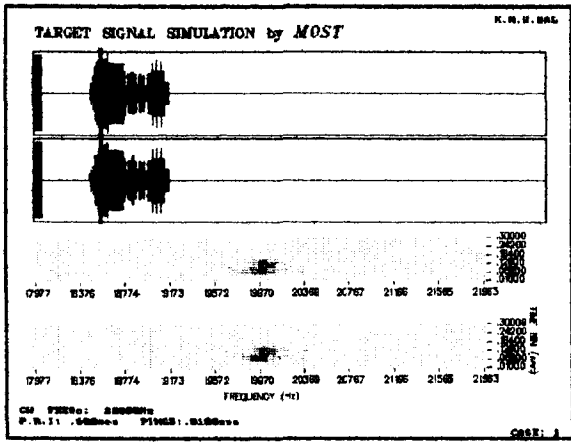
3.5 각 채널의 시간지연

수신부의 중심부에 대한 각 채널에서의 시간지연은 기하학적으로 아래의 식으로 표현되며 Far Field를 만족하지 않아도 시간지연은 계산할 수 있다. STP는 음원에서 바라본 표적의 위치이고 AC는 각 채널의 음향중심이다. STRr은 음원에서 표적까지의 거리이다.

$$\begin{aligned}
 X &= STP_x^2, & Y &= (STP_y + AC)^2, \\
 Z &= (STP_z + AC)^2 \\
 TDelay &= (\sqrt{X + Y + Z} - STRr) / C
 \end{aligned}$$

IV 수치모델의 예

다음은 MOST 신호합성기를 이용해 만든 가상적인 표적신호이다. 표적의 길이는 100m, 높이와 폭은 각각 20m, 전체좌표계에 대한 음원의 좌표는 xyz순으로 (50m, 0m, 100m), Euler Angle(0°, 0°, 0°), 표적의 좌표는 (171m, 0m, 100m), Euler Angle(0°, 0°, 45°)로 두고, 정지해 있는 상태와 음원의 속도 10m/s, 표적의 속도 5m/s의 상태에서 표적신호이다.



V. 결 론

본 연구에서는 도플러, 펄스신장, 채널간 시간지연, 표적강도 분포가 포함된 MOST 신호 합성기를 제시하였다. 이 신호발생기는 최신의 탐지 알고리즘의 개발 및 검증에 사용될 수 있을 것이다. 앞으로의 연구는 수조 및 해상시험을 통하여 표적신호 합성시에 사용된 입력변수들을 적절히 선택할 수 있도록 표적의 형상 및 내부구조에 의한 산란현상을 이해하여 모델링하는 데에 집중하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. G. Chamberlain and A. M. Berlinsky, "Coherent Target and Environmental Modelling for Torpedo Terminal Homing Simulation", *Electronic Progress*, Vol.XXIV, No.1, Spring, pp19-22, Raytheon Company, 1982
- [2] R. Ludwig, L. Hogrefe, W. Tietz, "Acoustic Underwater Target System", UDT conference Proceedings, pp864-869, Paris, France, April 1991
- [3] J. C. Bol, "Some Developments in Simulating SONAR Targets," UDT Conference Proceedings, pp637-642, London, England, Oct. 1988
- [4] Robert J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., 1983
- [5] B. M. Brown and G. Maltin, "Extension of the Target Strength Studies", TRACOR Document, T72-AU-9508-U, 6500 Tracor Lane, Austin, Texas, U.S.A., Oct. 1972
- [6] 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