

빔형성 기반 고속 탐색 기법의 신호대 잔향음비 분석

손우성, 서영광, 김형남[©]

부산대학교

hnkim@pusan.ac.kr[©]

Signal to reverberation ratio analysis of a beamforming-based fast searching method

Son Woo-Sung, Seo Young-Kwang, Kim Hyoung-Nam[©]

Pusan National University

요약

빔형성을 활용한 빔 송/수신방법은 수중환경에서 원거리에서 존재하는 고속 기동 수중운동체를 탐지하는 데 적합하다. 하지만 빔형성 기반 표적 탐지 기술은 각 빔의 탐색 범위가 한정되어 있으며, 고속 기동 표적이 존재할 때 넓은 범위를 신속하게 탐색하기 위해서는 단 시간에 다수의 빔을 사용해야 한다. 본 논문에서는 기존의 pulse repetition interval (PRI)으로 빔을 송신하는 송신방법과 분할된 펄스 길이 간격으로 송신빔을 연속적으로 송신하는 송신방법을 소개하고 각 송신방법을 적용할 때 발생하는 수중 잔향음을 분석한다. 이를 위해 분석용 잔향음 채널을 모델링하여 잔향음을 생성하고 정합 필터 출력 신호에 대한 신호대 잔향음비를 분석하였다. 모의실험을 통해 다수의 송신빔을 사용하여 단일 빔의 펄스 길이가 감소할수록 정합 필터 출력 신호의 신호대 잔향음비 (SRR : signal to reverberation ratio)가 감소하는 결과를 확인하였다.

I. 서론

수중 환경에서 운용되는 대표적인 무기인 어뢰는 19세기에 등장한 이후로 지속적으로 개발되어 왔으며, 이에 따라 해상 혹은 해저에서 어뢰로부터 아군의 생존과 안전을 보장하기 위한 방어 수단에 대한 연구도 진행되고 있다. 이와 관련된 연구 중 하나로 원거리의 고속 기동 표적을 탐지하기 위해서 넓은 범위를 고속으로 탐색할 수 있는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

수중 환경에서 원거리에서 존재하는 고속 수중운동체를 탐지하기 위해서는 음파를 이용한 배열 안테나의 빔형성 기법을 활용한다. 하지만 빔형성 기법 기반 표적탐지는 빔폭에 따라 탐색범위가 한정된다는 한계가 존재하며 이에 따라 탐색범위를 넓히기 위하여 그림 1에서 도시된 PRI 기반 빔 송신방법(송신방법 1)과 같이 여러 각도로 순차적인 빔을 송신하는 방법을 적용할 수 있다. PRI 간격 송신방법은 음파의 낮은 전파속도로 인하여 각각의 빔이 송/수신되는 시간 간격 사이에 고속 수중운동체가 먼 거리를 이동하게 되어 정확한 표적탐지 및 거리추정이 어렵다는 문제점이 있으므로 넓은 범위를 고속 탐색하기 위해서는 그림 1에 도시된 분할된 PL 기반 빔 송신방법(송신방법 2)을 활용할 수 있다. 이 송신방법은 PRI마다 송신되는 빔의 펄스길이를 빔의 개수로 분할하여 연속적으로 빔을 송신하는 방법으로 넓은 범위의 고속 탐색이 가능하나, 각 빔의 펄스길이가 짧아진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 잔향음이 배경잡음보다 탐지 성능에 더욱 큰 영향을 주는 환경에서 각 송신방법에 대하여 빔의 펄스길이에 따라 발생하는 잔향음을 생성하고 정합필터 출력신호에 대하여 신호대 잔향음비 (SRR : signal to reverberation ratio)를 도출하여 분석하였다 [1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 잔향음 생성을 위한 잔향음 채널 모델링을 소개하고 III장에서는 모의실험을 통해 각 송신방법에 따른 신호대 잔향음비 분석 결과를 제시한다. 마지막 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 잔향음 채널 모델링

잔향음 채널은 송신빔에 의한 잔향음을 생성하고 생성된 잔향음의 준위를 분석하기 위한 목적으로 단위 체적내의 스캐터는 밀도가 충분히 높고 균등하게 분포하며 스캐터에 의한 신호의 첫 번째 산란 이후 재산란 과정은 무시한다는 가정 하에 단순화하여 모델링하였다 [2]. 그림 2와 같이 잔향음 채널 임펄스 응답의 크기는 신호의 전송거리에 따른 잔향음 준위의 감쇠율을 적용한 Rayleigh 확률 변수를 가지며 위상은 $-\pi \sim \pi$ 에서 균등 확률 변수를 가진다 [1]. 송신신호와 잔향음 채널을 이용하여 생성된

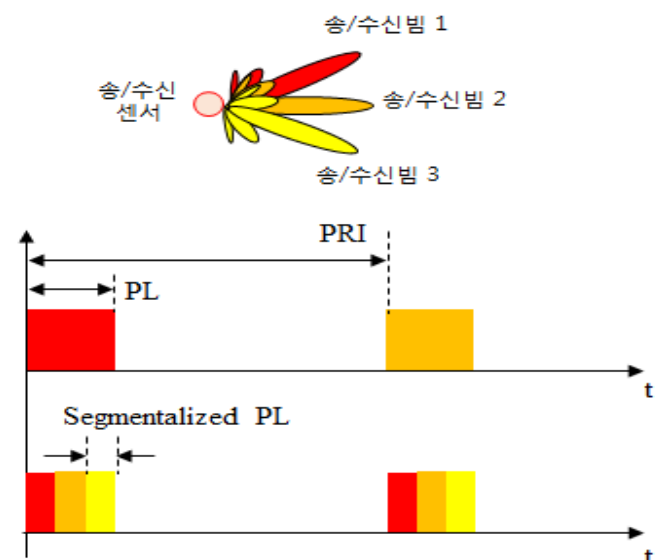


그림 1. PRI기반 빔 송신방법(위) 및 분할된 PL기반 빔 송신방법(밑).

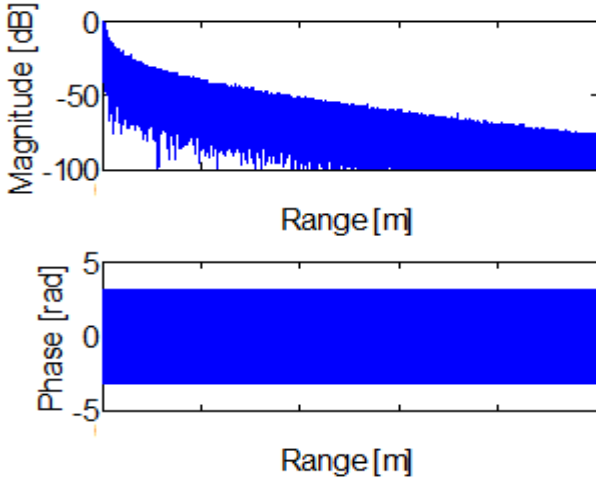


그림 2. 잔향음 채널 임펄스 응답의 크기와 위상

잔향음은 식(1)과 같이 표현된다.

$$r[n] = \text{real}\{s[n] * (a[n]h_r[n])\} \quad (1)$$

여기에서 $r[n]$ 은 생성된 잔향음, $s[n]$ 은 송신신호, $a[n]$ 은 거리에 따른 잔향음 감쇠율, $h_r[n]$ 은 잔향음 채널을 나타낸다.

III. 모의실험 결과 및 분석

잔향음 채널을 이용하여 송신방법1, 2를 적용할 때 발생하는 잔향음을 생성하고 정합 필터 출력 신호에 대한 신호대 잔향음비를 분석하였다. 설정한 표적 탐지범위 내에서는 신호를 송신할 때 송신신호에 의해 발생하는 잔향음이 배경잡음보다 우세하여 탐지성능에 영향을 주는 주요인이 된다 [1]. 그러므로 각 송신방법을 적용할 때 빔의 펄스길이에 따른 잔향음을 분석함으로써 잔향음이 존재하는 환경에서 각 송신방법의 탐지성능을 예상해 볼 수 있다. 본 논문에서 도출한 신호 대 잔향음비 SRR 을 식 (2)와 같이 정의한다.

$$SRR = \frac{P_{\text{receive signal}}}{P_{\text{reverberation}}} \quad (2)$$

$P_{\text{received signal}}$ 은 수신신호 전력, $P_{\text{reverberation}}$ 은 잔향음 전력을 나타낸다.

그림 3은 PRI 당 펄스길이 15ms인 송신빔 개수가 1개인 송신방법 1과 PRI 당 펄스길이 5ms인 송신빔 개수가 3개, 펄스길이 3ms인 송신빔 개수가 5개인 송신방법 2에 대해서 SRR 을 도출한 결과이다. 각 송신방법에서 PRI 당 송신 펄스길이는 같으므로 발생하는 잔향음의 크기는 같다. 임의의 거리에 존재하는 표적에 대한 표적 반사신호와 발생한 잔향음에 정합필터를 적용하여 출력 SRR 을 도출하였다. 임의의 거리에 대하여 PRI 당 송신빔 개수가 1개, 즉 펄스길이가 15ms일 때 SRR 이 가장 높으며 빔의 펄스길이가 짧아질수록 SRR 은 감소하였다. 또한 송신신호가 전송된 거리가 멀수록 전송손실로 인하여 신호의 준위가 낮아져 SRR 이 감소하는 결과를 확인할 수 있다.

IV. 결론

원거리에 존재하는 고속 수중운동체 탐지를 위한 빔형성 기법 기반 연속

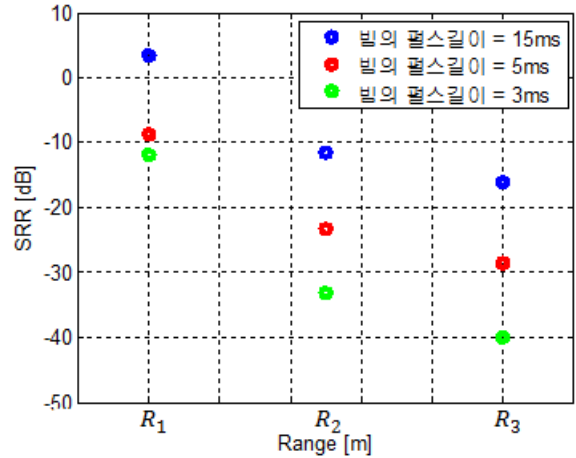


그림 3. 송신방법 1, 2의 빔 펄스길이에 따른 신호 대 잔향음비

빔 송신 기술 연구로써 본 논문에서는 빔의 펄스길이가 달라지는 송신방법1, 2에 따른 신호대 잔향음비를 도출하여 분석하였다. 본 논문의 분석 결과는 빔형성 기법 기반 연속빔 송신기술의 원거리 표적 탐지성능 향상을 위한 연구에 활용 가능할 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 “수중복합음향환경 모델링 및 고속 수중운동체 탐지/식별 기법 연구 (계약번호 UD150002DD)”에 대한 연구용역으로 수행하였음.

참고 문헌

- [1] Richard P. Hodges, “Underwater Acoustics, Analysis, Design and Performance of Sonar” WILEY, 2010.
- [2] Qihu Li, “Digital Sonar Design in Underwater Acoustics”, Advanced Topics in Science and Technology in China, Springer, 2012.