

원통형 배열 소나를 위한 두 개의 분리 빔의 상호상관을 이용한 광대역탐지 기법

A broadband detection algorithm using cross-correlation of two split beams for cylindrical array sonar

곽철현[†]

(ChulHyun Kwak^{1†})

¹국방과학연구소 소나체계개발단

(Received August 30, 2017; accepted September 28, 2017)

초 록: 원통형 소나 시스템에서 기존의 광대역탐지 기법으로는 인접한 표적을 분리 탐지하는데 한계가 있다. 본 논문에서는 방위분해능을 향상을 위해 상호상관을 이용한 광대역탐지 기법을 원통형 소나 시스템에 적용한다. 제안된 기법은 상호상관을 이용한 광대역탐지 처리 이전에 분리 빔형성을 이용하여 동일 지향방위의 좌우 반 빔을 생성한다. 생성된 좌우 반 빔간의 상관관계 결과를 방위 값으로 변환하여 표적의 방위를 추정한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법이 기존의 광대역탐지 기법보다 성능이 우수함을 검증하였다.

핵심용어: 광대역탐지, 상호상관, 분리빔형성, 방위 분해능, 수동소나

ABSTRACT: In a cylindrical sonar, a conventional broadband energy detector has limitations in the separation of adjacent targets. In this paper, a broadband detection algorithm using cross-correlation is applied to the cylindrical sonar to improve the bearing resolution. The proposed algorithm uses split beamforming before broadband detection processing using cross-correlation to generate half beams. The time delay obtained from the peak of correlation between half beams is used to estimate the bearing of target. Simulations demonstrate the improved performance of the proposed algorithm against the conventional algorithm.

Keywords: Broadband detection, Cross-correlation, Split beamforming, Bearing resolution, Passive sonar

PACS numbers: 43.30.Wi, 43.60.Cg

1. 서 론

수동 소나 시스템은 수중 위협세력으로부터 생성된 방사 소음을 신호처리를 통해 탐지하여 표적의 방위 및 특징 정보를 운용자에게 제공한다.^[1] 수동 소나의 기본적인 탐지 기능은 신호처리 방법과 방사 소음의 특성에 따라 광대역 신호를 이용하는 방위 탐지와 협대역 신호를 이용하는 주파수 탐지로 구분된다. 수동 소나 시스템에서 광대역탐지를 이용한 방위 탐지는 표적의 특징 주파수 정보가 없을 경우

에도 광대역 신호를 이용하여 표적 기동 유무 및 위치를 추정할 수 있기 때문에 가장 기본적인 기능이다. Fig. 1은 일반적인 광대역탐지 기법의 처리과정을 나타낸 것이다.^[2] 시간영역에서의 지연합을 이용하여 특정 방향으로 지향된 빔에 포함된 모든 주파

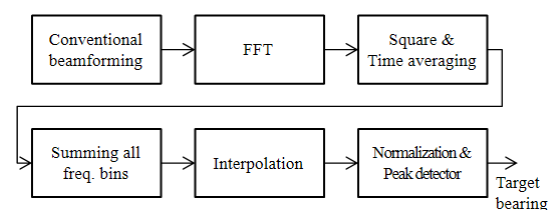


Fig. 1. A block diagram of the conventional algorithm.

[†]Corresponding author: ChulHyun Kwak (chkwak@add.re.kr)
Agency for Defence Development, P.O.Box 18, Jinhae-gu, Changwon,
Gyeongnam 51678, Republic of Korea
(Tel: 82-55-540-6518, Fax: 82-55-542-3737)

수영역에서의 에너지를 합산한 후 이를 보간하여 표적의 방위를 추정한다. 지향 빔에 대한 모든 에너지를 이용함으로써 견실성이 매우 높지만 소음 준위가 낮은 표적이나 특정 협대역 성분만을 갖는 표적에 대해서는 주변 잡음이나 강한 저주파 신호에 의해 탐지 성능이 저하된다. 또한 방위 분해능의 한계로 인접한 표적의 분리 탐지되지 않는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 광대역탐지의 성능 향상을 위한 다양한 기법에 대한 연구가 이루어졌다. 기본적으로 광대역탐지는 빔형성의 출력 데이터를 이용하므로 빔 출력의 성능이 광대역탐지의 성능에도 영향을 미칠 수 있다. 이러한 점에 착안하여 빔형성과 관련된 연구들이 이루어 졌으며 잡음에 의한 간섭의 영향을 최소화하는 MVDR(Minimum Variance Distortionless Response) 기법과 같이 적응 빔형성을 이용한 광대역탐지 성능 향상 기법들이 제안되었다.^[3-5] 하지만 적응 빔형성은 많은 연산량으로 실시간성의 문제와 조향 벡터와 응답벡터 간 불일치에 의한 성능 저하 때문에 시스템에 적용하기에는 견실성이 떨어진다.

광대역탐지 기법 처리과정에 대한 연구로는 주파수 대역별로 전체 방위영역에서 국부 침두값을 찾고, 침두값의 여부를 판단하여 +1/-1 또는 침두값에서의 에너지를 가중치를 이용하여 합산하거나,^[6] 주파수 대역별 에너지의 세기에 따라 적합한 가중치를 인가하여 광대역탐지를 수행하는 부대역 광대역탐지 기법들이 제안되었다.^[7] 부대역 광대역탐지 기법은 부대역별 처리과정에 의해 방위 분해능 향상 및 낮은 에너지를 가지는 표적에 대한 탐지에 효과적이거나, 자함 또는 표적이 급격히 기동할 경우 방위 궤적이 사라지는 현상이 나타난다. 이외에도 Quadratic spectral Capon과 MUSIC (Multiple Signal Classification) 기법을 적용하여 광대역탐지와 같은 결과를 얻을 수 있는 기법도 연구되었다.^[8]

센서로 수신되는 표적 신호는 완전한 상관관계를 갖고 잡음신호는 상관관계가 없다는 가정 하에 상관 계수 기법을 적용한 광대역 처리과정도 연구되었다. 상관관계를 이용할 경우 잡음의 간섭을 제거하고 표적의 방위 분해능 성능 향상을 기대할 수 있다. 이러한 상호상관을 이용한 기법들은 주로 부배열을 쉽게 구성하여 빔을 만들 수 있는 선배열 구조의 소나 시

스템에서만 이루어져 왔다.^[9] 원통형 배열 구조를 갖는 소나 시스템에는 부배열 구조를 가정하기 어려워 상호상관을 이용한 광대역탐지 관련 연구가 잘 알려져 있지 않다. 본 논문에서는 원통형 소나에 적용 가능한 상호상관을 이용한 광대역탐지 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 기법의 성능 확인을 위해 시뮬레이션 결과를 분석하여 기존 기법보다 성능이 우수함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 분리 빔형성과 상호상관 기법을 이용한 광대역탐지 기법의 처리과정 기술을 위해 II장에서는 분리 빔형성에 대한 설명을, III장에서는 상호상관을 이용한 광대역탐지 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 모의환경데이터를 이용한 시뮬레이션 결과의 비교분석을 통해 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 검증한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문에 대하여 결론을 맺는다.

II. 분리 빔형성 기법

일반적으로 시간 영역에서의 빔형성은 센서 배열의 일정한 공간 배치에 따른 시간 지연을 이용하며 Eq. (1)과 같다. 지향방위 별로 시간 지연합을 이용하여 생성된 빔출력은 지향방위의 신호대잡음비를 증대시키며, 잡음에 대한 간섭을 효과적으로 제거한다.

$$b(t) = \sum_{n=1}^N a_n x_n(t - \tau_n), \tag{1}$$

빔 출력 $b(t)$ 는 지향 방위별 N개의 센서데이터의 지연 가중치 합으로, 여기서 a_n 은 웨이딩 계수, x_n 은 센서 출력신호, τ_n 은 지향을 위한 시간 지연이다.

제안한 상호상관 기반의 광대역탐지 기법을 이용하기 위하여 동일한 지향방위에 2개의 빔이 요구되어진다. 이를 위해 동일 지향방위에 대해 좌·우 반빔 출력을 획득할 수 있는 분리 빔형성 기법을 이용하였다.^[10] 적용한 분리 빔형성 기법은 Eq. (1)의 일반적인 시간 지연합 기법을 변형 및 적용하여 Eqs. (2)와 (3)과 같이 좌·우 분리 빔형성을 수행한다.

$$b_{Left}(t) = \sum_{n=1}^{N/2} a_n x_n(t - \tau_n). \quad (2)$$

$$b_{Right}(t) = \sum_{n=N/2+1}^N a_n x_n(t - \tau_n). \quad (3)$$

III. 상호상관을 이용한 광대역탐지 기법

제안하는 광대역탐지 기법은 공간 및 시간에 대한 상관도를 고려하여 표적 방위를 추정하는 방법으로, 각 지향방위 별로 좌·우 반 빔을 생성하는 분리 빔형성과 좌·우 반 빔 출력의 상관도를 산출하여 표적방위를 추정하는 부분으로 구성된다. 제안하는 기법의 블록 다이어그램은 Fig. 2와 같다. II장에서 언급한 바와 같이 배열 센서에서 수신된 음향신호를 분리 빔형성 수행하여 전 방위에 대한 각 지향방위 별 좌·우 반 빔을 생성한다.

표적의 방위각 추정을 위해 분리 빔형성을 통해 획득한 좌·우 반 빔 출력 간의 상관관계를 이용한다. 각 지향방위별로 좌·우 반 빔 출력 $b_{Left}(t)$, $b_{Right}(t)$ 의 상관관계를 통해 상관 출력 $R_k(t)$ 를 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 전방위에 대해 θ_b 표적의 방위각을 구할 수 있다. 시간영역에서 상호상관 관계를 이용하는 수식은 Eq. (4)와 같다. 좌측 반 빔에 임의의 시간 지연 τ 을 입력하여 시스템의 출력 값을 얻는다. 이때 출력 값의 최대가 되는 시간 지연 값 τ 가 표적의 방위각을 알 수 있는 예측치가 된다.

$$R_k(t) = \frac{1}{T} \int_0^T b_{Left}(t - \tau) b_{Right}(t) d\tau. \quad (4)$$

전 방위 좌·우 반 빔에 대한 시간지연 상호상관을 처리하여 시간영역에서 상관관계 결과의 극값이 되

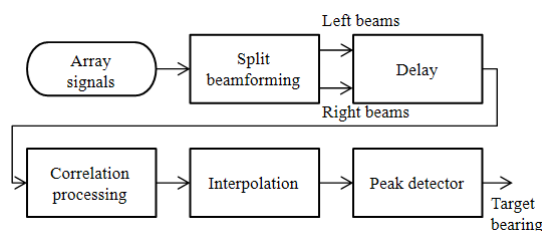


Fig. 2. A block diagram of the proposed algorithm.

는 영역을 찾는다. 방위별로 산출된 상호상관 값 중 최대값을 선택하며, 해당 방위 내 상호상관 값이 존재하지 않을 경우 인접한 두 값의 선형 보간을 이용하여 값을 산출한다. 산출된 전 방위에 대한 결과에서 첨두값을 추출하고 시간적분을 수행하여 운용자에게 최적화된 전시화면을 제공한다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

제안한 광대역탐지 기법의 성능을 확인하기 위해 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 표적의 방위분해능 확인을 위한 시뮬레이션에 사용된 모의신호는 두 가지 시나리오로 구성하였다. 공통적으로 두 개의 표적을 일정 방위를 이격 시켜가며 표적의 분리 탐지가 되지 않을 때 까지 시나리오를 설정하였다. 시나리오 간 특징으로 첫 번째 시나리오는 두 표적의 신호 크기를 동일하게 설정하였으며, 두 번째 시나리오는 두 표적의 신호 크기가 3 dB 차이나도록 설정하였다. 시뮬레이션 시 빔형성에 이용된 원통형 배열 센서의 수는 빔 지향방위 $\pm 60^\circ$ 에 해당되는 총 32개를 사용하였다.

본 논문에서 제안한 기법의 결과와 성능을 비교하기 위해 일반적인 에너지 탐지(Conventional Energy Detection, CED) 기법을 기존 기법으로 선정하였다. CED 기법은 표적의 방위 추정을 위해 N개의 빔출력을 FFT와 제곱검파를 수행한 뒤, 각 빔 별 전체 주파수 대역의 에너지를 합산하여 전시화면에 맞추어 방위 보간을 수행한다.^[6,8]

Fig. 3(a)와 (b)는 동일한 신호 크기를 갖는 첫 번째 시나리오에 대한 각 기법별 탐지 결과이다. Fig. 3(a)는 두 표적간의 방위 차이가 5.1° 일 때 광대역탐지 처리한 결과이다. 기존 기법과 제안된 기법 모두에서 표적의 분리 탐지가 되었음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 3(b)에서 기존 기법과 제안된 기법을 비교하면 표적간의 방위차가 4.4° 에 대해서는 제안 기법만 두 표적을 분리 탐지하고, 기존 기법은 표적을 분리하여 탐지하지 못한 것을 알 수 있다. 기존 기법의 경우에 표적간 방위 차이가 5.1° 이상부터 표적을 분리 탐지할 수 있으며, 제안한 기법의 경우에는 4.4° 일 때까지 분리 탐지됨을 확인하였다. Fig. 4(a)와 (b)는 신호크기가 다른

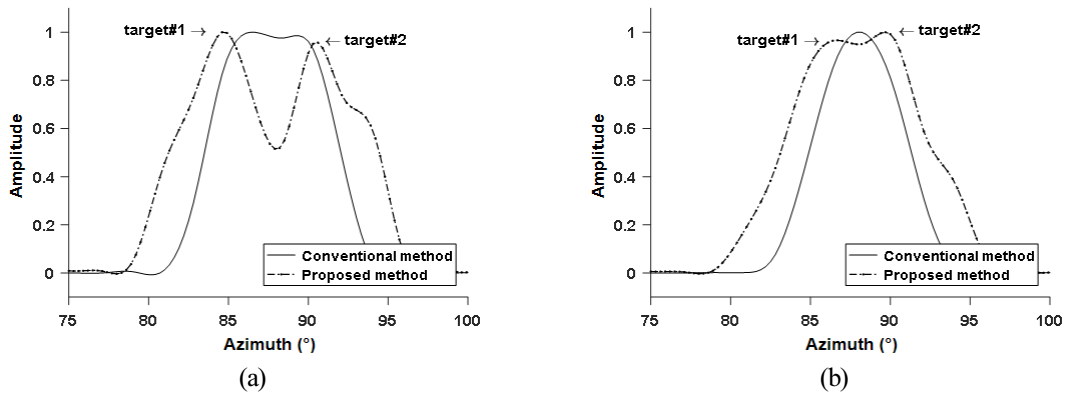


Fig. 3. Simulation results on synthetic data of the scenario #1. (a) two source with 5.1° angular separation, and (b) two source with 4.4° angular separation.

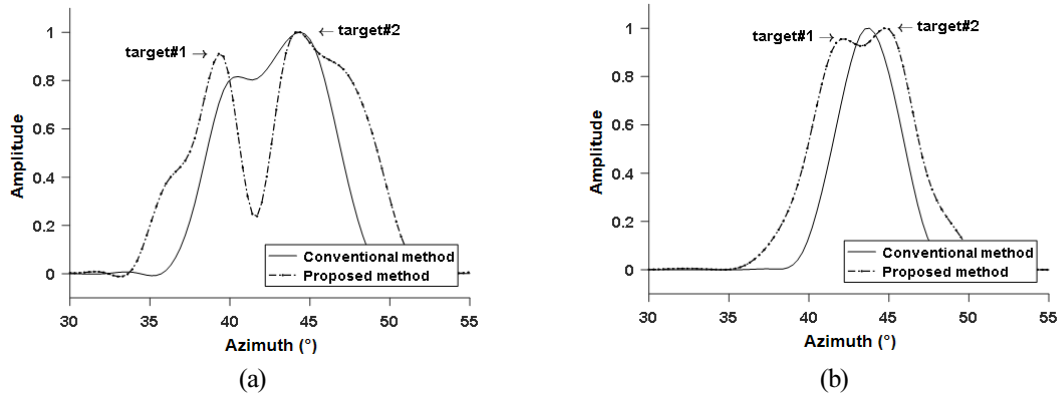


Fig. 4. Simulation results on synthetic data of the scenario #2. (a) two source with 5.1° angular separation, and (b) two source with 2.9° angular separation.

두 표적에 대한 두 번째 시나리오의 시뮬레이션 결과이다. 기존 기법은 첫 번째 시나리오와 같이 표적 간 방위차가 5.1° 이상부터 표적을 분리 탐지할 수 있었으나, 제안한 기법은 2.9°일 때까지 분리 탐지됨을 확인하였다. 따라서 제안된 기법이 기존 기법에 비해 동일한 신호 크기를 갖는 두 표적의 경우에는 약 0.7, 신호 크기가 다른 두 표적에 대해서는 약 2.2°만큼 표적을 분리 탐지할 수 있는 것을 알 수 있다. 이를 통해 제안한 기법이 표적의 분리 탐지를 효과적으로 수행하여 원통형 배열 소나의 방위 분해능을 향상시켰음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 원통형 배열 구조를 갖는 소나 시스템에 분리 빔형성 기반의 상호상관을 이용한 광대

역탐지 기법을 제안하였다. 제안한 기법의 성능을 확인하기 위하여 모의 신호를 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시나리오에 따른 모든 결과에서 제안한 기법의 성능이 우수함을 알 수 있다. 실제 시스템의 시험 조건에 맞는 동일한 신호 크기를 갖는 시나리오를 기준으로 제안한 기법이 기존 기법 대비 약 13%의 방위 분해능 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 향후에는 추가적인 실험을 통해 다양한 배열 구조를 갖는 소나 시스템에서의 적용 가능 여부도 연구할 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. R. P. Hodges, *Underwater Acoustics: Analysis, design and performance of Sonar* (Wiley, West Sussex, 2011), pp. 1.
2. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing* (Artech House,

- Norwood, 1991), pp. 150-157.
3. Y. Shefeng, and M. Yuanliang, "High-resolution broadband beamforming and detection methods with real data," *Acoustical Science and Technology*, **25.1**, 73-76 (2004).
 4. S. M. Kogon, "Robust adaptive beamforming for passive sonar using eigenvector/beam association and excision," *Proc. IEEE SAM*, 33-37 (2002).
 5. C. Bao, "Robust high resolution dominant mode rejection (DMR) beamformer for passive sonar," *Proc. ACOUSTICS Gold Coast, Australia: Austral. Acoust. Soc.*, 523-525 (2004).
 6. M. Bono, B. Shapo, P. McCarty, and R. Bethel, "Subband energy detection in passive array processing," *Proc. IEEE ASAP*, 25-30 (2001).
 7. T. S. Kim, Y. S. Kim, Y. G. Kim, and S. T. Moon, "Receiving signal level measurement based weighting method for broadband energy detection"(in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **32**, 532-540 (2013).
 8. R. E. Zarnich, "A fresh look at broadband passive sonar processing," *Proc. Seventh Annual ASAP '99 Workshop*, 99-103 (1999).
 9. S. Stergiopoulos and A. T. Ashley, "An experimental evaluation of split-beam processing as a broadband bearing estimator for line array sonar systems," *J. Acoust. Soc. Am.* **102**, 3556-3563 (1997).
 10. Y. W. Ryu, E. C. Jeong, and S. Y. Chun, "Analysis on noise correlation of triplet line array sensors in the east sea" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **34**, 479-486 (2015).

저자 약력

▶ 곽 철 현 (ChulHyun Kwak)



2008년 2월: 동국대학교 전자공학과 학사
 2010년 2월: 동국대학교 전자공학과 석사
 2010년 9월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원