

비동기 양상태 소나 시스템을 위한 직접파 탐지 기법

Direct blast detection algorithm for asynchronous bistatic sonar systems

정의철,[†] 안재균,¹ 김주호¹

(Euicheol Jeong,[†] Jae-Kyun Ahn,¹ and Juho Kim¹)

¹국방과학연구소

(Received March 29, 2018; revised April 25, 2018; accepted May 30, 2018)

초 록: 단상태 소나는 음원의 송신시간과 반사파의 수신시간 정보를 이용하여 표적의 위치를 산출한다. 그러나 음원의 송신시간 정보를 수신센서와 공유하지 않는 비동기 양상태 소나 시스템에서는 표적의 위치를 산출하기 위해 수신센서에서 음원의 직접파(direct blast)를 탐지해야한다. 본 논문에서는 직접파에 대한 PRI(Pulse Repetition Interval)와 적응적인 임계치 추정을 통해 직접파 탐지를 수행하는 기법을 제안한다. 모의 신호 및 해상 실험 데이터를 이용하여 제안하는 기법의 성능을 분석하였고 그 결과 강한 배경소음 및 직접파와 유사한 다수의 표적 반사파가 존재하는 환경에서도 강한 직접파 탐지 성능을 보여주었다.

핵심용어: 양상태 소나, 양상태 표적 위치 추정, 직접파 탐지, PRI (Pulse Repetition Interval) 추정

ABSTRACT: Monostatic sonar systems localize targets using the time information of pulse transmission and receipt. Whereas, in asynchronous bistatic sonar systems, receivers need to detect direct blast to localize targets, since a source doesn't share pulse information with receivers. In this paper, we propose a direct blast detection algorithm, which estimates PRI (Pulse Repetition Interval) of direct blast and adaptive thresholds. Experimental results show the proposed algorithm has robust direct blast detection performance in the environment where strong background noise and target signal exist.

Keywords: Bistatic sonar, Target localization, Direct blast detection, PRI (Pulse Repetition Interval) estimation

PACS numbers: 43.30.Vh, 43.30.Bf

1. 서 론

단상태 소나 시스템은 음원과 수신센서가 동일한 플랫폼에 존재하며 음원의 송신 시간 정보와 수신센서 신호를 통해 표적을 탐지한다. 음원의 송신시간 및 음원에서 방사된 능동펄스가 표적에 반사되어 수신되는 시간 정보를 이용하여 수신센서와 표적 사이의 거리를 산출할 수 있다.^[1,2] 음원과 수신센서가 같은 플랫폼에 탑재된 양상태 소나 시스템에서도 음원의 송신 시간 정보를 공유하여 표적을 탐지하는 것이 가능하나, 이중 플랫폼 시스템에서는 음원과 수

신센서 간에 음원의 송신 시간 정보를 공유하기 어려운 경우가 발생한다. 따라서 양상태 소나 시스템에서 음원의 송신시간 정보 없이 수신센서와 표적 사이의 거리를 산출하는 기술이 필요하며, 이를 이행하기 위해서는 음원 방향에서 수신되는 직접파(direct blast)를 탐지하여 직접파 수신시간 정보를 추정해야한다.^[3,4] 직접파 탐지를 위해 가장 기본적으로 생각할 수 있는 방법으로는 고정 임계치를 이용한 탐지가 있다. 보통 직접파는 임펄스 응답 특성을 갖고 있고 주변 잡음 또는 반사파 보다 큰 음압을 갖고 있기 때문에 특정 임계치보다 큰 펄스를 직접파로 판단할 수 있다. 그러나 실제 해상환경에서는 음원이 이동하거나 주변 환경이 바뀌는 경우가 많아

[†]Corresponding author: Euicheol Jeong (jec528@add.re.kr)
Agency for Defence Development, P.O.Box 18, Jinhae-gu, Chang-won,
Gyeongnam 51678, Republic of Korea
(Tel: 82-55-540-6547, Fax: 82-55-542-3737)

직접파가 항상 일정한 크기의 음압을 갖지 않는다. 뿐만 아니라 직접파 탐지를 위한 임계치 값을 결정하는 것도 주변 잡음이 해양 환경에 따라 바뀔 수 있기 때문에 간단하지 않은 문제이다.

비동기 양상태 소나의 직접파 탐지 기법은 구체적으로 연구된 바가 없다. 다만, 유사한 연구로 능동 펄스 식별 기법, 순간소음 탐지 기법 등이 있으나, 이 기법들은 단발성 펄스를 탐지 및 식별하는 방법으로 본 논문에서 가정하는 양상태 소나 직접파 탐지에 적합한 방법은 아니다.^[5,6] 펄스의 PRI(Pulse Repetition Interval) 정보를 활용하여 직접파를 탐지하는 방법을 생각해볼 수도 있으며 PRI 추정 기법으로는 기존에 연구된 자기상관을 이용한 PRI 추정^[7] 기법이 있다. 이 방법은 직접파 준위가 변하는 환경에서 자기 상관 출력의 하모닉이 PRI의 배수 주기마다 발생하는 문제 등으로 인해 PRI 추정이 불안정해지는 단점이 있다.

본 논문에서는 비동기 양상태 소나의 직접파 탐지 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 실제 해양 환경에 대응할 수 있도록 가상의 임계치들을 이용하여 직접파의 PRI를 추정하고 추정된 PRI 기반으로 직접파를 실시간으로 탐지한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 양상태 소나 시스템의 표적 위치 추정 개념, 직접파 탐지를 위한 알고리즘의 요구 조건 및 이론 설명, 3장에서는 모의 데이터 및 실험 데이터를 활용한 알고리즘의 탐지 성능 분석, 4장을 끝으로 결론을 맺었다.

II. 본 론

2.1 양상태 소나 시스템의 표적 위치 추정

양상태 소나 시스템은 탐지된 표적의 위치 산출을 위해서 음원, 수신센서, 표적이 이루는 삼각 형태의 기하학적인 모델을 이용한다. Fig. 1은 양상태 소나의 기하학적인 모델을 보여주고 있다. Fig. 1에서 R_1 , R_2 , R_3 는 표적-음원, 표적-수신센서, 음원-수신센서 사이의 거리를 의미하고 α 는 표적-수신센서-음원 사이각을 나타낸다. 이때 수신센서-표적의 거리 R_2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[4]

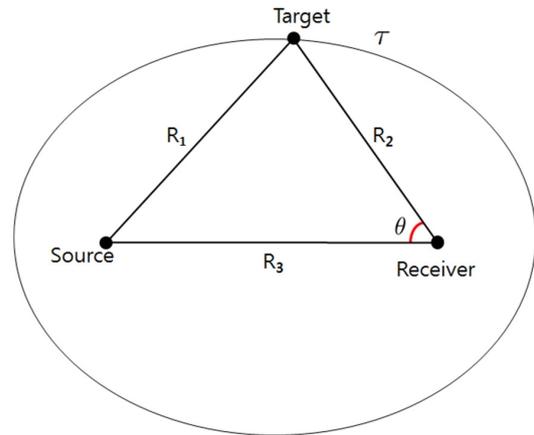


Fig. 1. Geometry of a bistatic sonar.

$$R_2 = \frac{c\tau + 2R_3}{2c\tau + 2R_3(1 - \cos\theta)}, \quad (1)$$

여기서 c 는 수중에서의 음속, τ 는 직접파와 반사파가 수신센서에 도달하는 시간 차이를 나타낸다. τ 에 대한 수식은 아래와 같다.

$$\tau = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{c}. \quad (2)$$

Eqs. (1)과 (2)를 이용하면, 능동 송신 펄스의 송신 시간 없이도, 표적의 거리를 산출할 수 있다. 구체적으로, 음원 및 수신센서의 위치를 레이더 정보를 통해 알고 있다고 가정하고 음원과 수신센서 간의 거리 R_3 을 계산한다. 또한 전 방위 수신 신호에 대한 빔 형성을 통해 모든 방위의 반사파-수신센서-음원의 각도 θ 를 구한다. 마지막으로 시간 지연 값인 τ 를 계산하기 위해서는 직접파의 수신시간을 추정하며 이를 위해 직접파 탐지를 수행한다.

2.2 직접파 탐지 알고리즘

제안하는 방법은 PRI 추정을 통해 직접파와 반사파를 구분하는 방법으로, 여러 개의 임계치를 설정하여 PRI 추정을 하고 PRI를 이용하여 직접파를 탐지하는 개념이다. 본 기법의 전처리 과정을 통해 음원의 파형 정보는 알고 있다고 가정하며 정합필터의 출력신호를 이용하여 직접파를 탐지한다. Fig. 2는

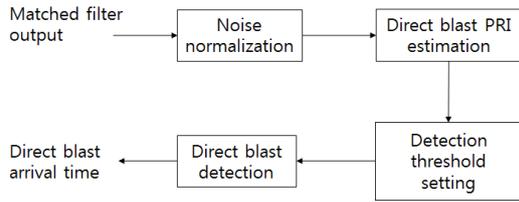


Fig. 2. Flow chart of the direct blast detection algorithm.

직접파 탐지 알고리즘의 간단한 순서도를 나타내고 있다. 먼저 주변 소음 준위에 대한 영향을 줄이기 위해 음원 방위 빔신호의 정합필터 출력에 대해 잡음 규준화를 수행한다. 다음으로 직접파 PRI를 추정하기 위해 규준화 된 정합필터 출력에 여러 개의 가상 임계치를 설정하고 각 임계치마다 해당 임계치를 넘는 침두값의 시간을 추출한다. 다음으로 임계치 별로 PRI를 추정하고, 그중에서 직접파 PRI로 판단되는 값을 갖는 가상 임계치만 후보로 선택하여 최종 직접파 탐지 임계치를 설정한다. 그리고 최종 임계치를 넘는 침두값을 직접파로 간주하며 해당 시간 정보를 출력한다.

2.2.1 잡음 규준화

양상태 신호 수신 시 배경 소음 준위가 시간에 따라 달라질 수 있으므로, 제안하는 기법에서는 잡음 규준화를 통해 우선 주변 소음 준위에 대한 영향을 줄인다. 잡음 규준화 방법으로 정합필터 출력에 대해 지수이동평균(exponential moving average) 필터를 사용한다. 정합필터 출력 전력 $M[n]$ 과 순간소음 판단을 위한 임계치인 T_{tr} 을 이용하여 추정된 잡음 준위 $B[n]$ 은 아래와 같다.

$$B[n] = \begin{cases} \alpha M[n] + (1-\alpha)B[n-1] & \text{if } M[n] < \widehat{B}[n] \\ B[n-1] + \gamma & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Eq. (3)의 $\widehat{B}[n]$ 은 $B[n-1] + T_{tr}$ 이고 γ 는 보정값으로 상수이다. α 는 가중치로서 0~1 사이의 값을 갖는다. 현재 시점의 추정 잡음 준위인 $B[n]$ 을 통해 잡음 규준화를 수행하며 규준화된 정합필터 출력값 $S[n]$ 은 다음과 같다.

$$S[n] = 10 \log_{10} \left(\frac{M[n]}{B[n]} \right). \quad (4)$$

제안하는 기법은 Eq. (4)를 통해 규준화된 정합필터 출력값을 입력으로 하여 직접파 탐지를 수행한다.

2.2.2 직접파 탐지를 위한 PRI 추정

제안하는 기법에서는 신호의 PRI를 추정하고, 추정된 PRI를 통해 직접파 탐지를 위한 임계치를 찾는다. PRI 추정 시 여러 개의 임계치를 설정하여 수신 신호의 크기에 적응적으로 대응하도록 하였다. 먼저 직접파의 탐지 시간을 추정하기 위해 정합필터 출력의 침두치를 추출하여, 직접파의 후보를 선별한다. 침두치는 Eq. (4)를 통해 얻은 $S[n]$ 들 중 $S[n-1]$ 과 $S[n+1]$ 보다 큰 값을 의미하며, 침두치가 탐지된 시점인 t 가 직접파 탐지 시간의 후보가 된다. 그리고 t 에 해당하는 정합필터 출력값에 대해 여러 개의 임계치를 적용한다. 가상 임계치는 규준화 된 정합필터 출력 크기를 양자화하여 생성하며, K 개의 가상임계치 V_k 는 아래와 같은 수식으로 설정하였다.

$$V_k = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{K-1} (k-1), \quad (5)$$

여기서 L_{\max} , L_{\min} 은 정합필터 출력 크기의 범위를 충분히 포함할 수 있는 가상 임계치의 최대값, 최소값이다. t 에 해당하는 정합필터 출력값이 V_k 보다 클 경우, t 값을 임계치별로 저장하며 t_k 로 표시한다. 다음으로 임계치 별로 현재 프레임에서 추출한 t_k 와 과거에 얻은 t_k 중 가장 최근 시점에 해당하는 \widehat{t}_k 와의 차이인 P_k 를 계산한다. 즉, $P_k = t_k - \widehat{t}_k$ 이다. 이러한 방식으로 매 프레임마다 규준화된 정합필터 출력값 $S[n]$ 과 임계치 V_k 를 비교하고, t_k 발생 시 P_k 를 계산한다. Fig. 3은 가상 임계치 별 PRI 추정에 대한 예를 나타낸다. 실제 해양 환경에서는 P_k 가 시변동성을 보이므로 P_k 추정의 안정성을 높이기 위해 지수이동평균 필터 적용하며 아래와 같이 \overline{P}_k 로 정의한다. 단, P_k 변동성이 일정 값 이상 클

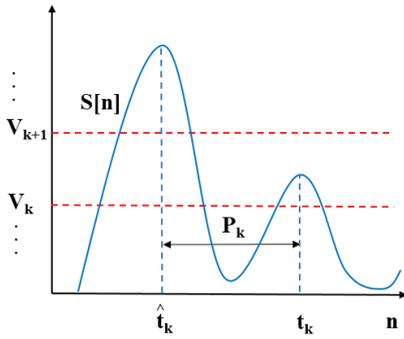


Fig. 3. Concept of virtual thresholds and PRI estimation.

경우에는 잡음 등의 영향으로 간주하고 \overline{P}_k 계산에서 제외한다.

$$\overline{P}_k = \begin{cases} \beta \overline{P}_k + (1 - \beta) P_k & \text{if } |\widehat{P}_k - P_k| < \sigma_k, \\ Null & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 β 는 0~1 사이의 값을 갖는 가중치이며, σ_k 는 허용 오차로 $\mu \overline{P}_{k-1}$ 이다.

Eq. (6)을 통해 PRI의 후보들을 만들게 되면, 실제 직접파의 PRI와 일치하는 값도 있고, 반사파와 직접파 사이의 시간 차 등의 경우도 나타나게 된다. 제안하는 기법에서의 가정이 직접파의 정합필터 출력값이 반사파나 잡음에 비해 크다는 것이므로, 실제 직접파 PRI에 해당하는 \overline{P}_k 는 임계치 k 에 대해 일정한 구간동안 유사한 값을 가질 확률이 높다. 예를 들어 \overline{P}_5 부터 \overline{P}_{10} 의 값이 각각 4, 2, 10, 10, 11, 30이라고 가정하면, 직접파의 PRI는 임계치 7번부터 9번에 해당되는 10~11 값이 될 것이다. 따라서 제안하는 기법에서는 \overline{P}_k 추정 후 \overline{P}_k 값 간의 그룹화를 통해 유효한 PRI 후보군을 선별한다.

\overline{P}_k 그룹화는 인접 k 간의 \overline{P}_k 차를 구하여 사전에 주어진 그룹화 허용범위 σ 내에 존재하는 \overline{P}_k 들을 하나의 집합 G_i 로, 해당되는 임계치 V_k 를 Z_i 집합으로 간주한다.

$$\overline{P}_k \in G_i, V_k \in Z_i \text{ if } |\overline{P}_k - \overline{P}_{k-1}| \leq \sigma. \quad (7)$$

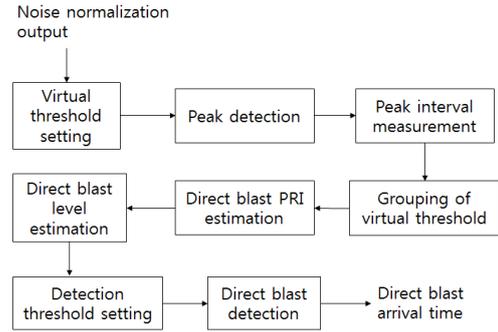


Fig. 4. Flow chart of the PRI estimation and direct blast detection.

Eq. (7)에서 k 가 1일 경우에는 첫 번째 그룹으로 할당한다. 이와 같은 방법으로 \overline{P}_k 에 대해 그룹화를 하고 그룹 내 원소 개수가 가장 많은 그룹 G_s 와 Z_s 를 직접파 탐지에 대한 대표 그룹으로 설정하며 그룹 내의 모든 가상 임계치 PRI 추정 값들의 평균을 직접파 PRI로 간주한다.

2.2.3 직접탐지를 위한 임계치 설정

직접파 PRI 추정 이후 직접파 PRI 추정값에 기인한 가상 임계치 그룹 Z_s 에 있는 원소들의 최대값 V_{max} 와 최소값 V_{min} 사이가 직접파 준위 추정 영역이 된다. 직접파 탐지를 위해 정확한 임계치를 설정해야 하며, V_{max} 와 V_{min} 를 이용하여 임계치를 Eq. (8)과 같이 설정한다.

$$T_{dir} = \rho(V_{max} - V_{min}) + V_{min}, \quad 0 \leq \rho \leq 1, \quad (8)$$

여기서 T_{dir} 는 직접파 탐지 임계치 준위, ρ 는 임계치를 설정하기 위한 비율 파라미터이다. ρ 는 직접파 및 반사파의 준위 차이, 분산 등에 따라 달라질 수 있는 값이며, 실험을 통해 결정해야 하는 파라미터이다.

직접파 탐지 임계치 준위가 확정되면 직접파 탐지 임계치 준위보다 크거나 같은 첨두치에 대하여 직접파로 간주하고 해당 시간을 출력한다. 단, 직접파 뒤에 수신되는 다중경로 신호들이 직접파로 판정되는 것을 피하기 위해서 직접파 판정 이후 일정시간 동안은 직접파 탐지를 하지 않는다.

III. 실험 결과

본 장에서는 모의신호 및 해상실험 데이터를 이용하여 제안한 기법의 성능을 확인한다.

3.1 모의실험

모의신호를 만들기 위한 모의 시나리오는 Fig. 5와 같이 수신센서-음원-표적이 직선상에 배치되어 있고 직접파와 표적 반사파가 수신센서까지 전달되는 거리가 각각 7.5 km, 15 km임을 가정한다. 이 경우 음속을 1500 m/s라고 가정하면 직접파와 표적 반사파의 시간지연 차이는 5 s가 된다. 직접파와 표적 반사파의 입력신호 준위 차이는 30 dB이고, 직접파 및 표적 반사파 준위의 분산은 5 dB로 설정하였으며, 배경소음은 가우시안 백색잡음으로 시간에 따라 준위를 변화시켰다. 직접파 PRI는 20 s로 2000 s 길이의 모의 신호에 100개의 직접파/표적 반사파가 포함되도록 모의 신호를 생성하였다. 구체적인 알고리즘 파라미터 값은 소나의 운용 환경에 따라 달라질 수 있으며 본 논문에서는 실제 환경에서 획득한 데이터를 이용하여 적절한 파라미터 값을 Table 1과 같이 도출하였다.

Fig. 6은 모의 신호의 정합필터 출력과 잡음준위 추정 결과를 나타낸다. Fig. 6(a)의 정합필터 출력에서 임펄스 성분과 같이 보이는 신호는 직접파 및 표적 반사파에 대한 결과이고 직접파는 130 dB, 표적 반사파는 100 dB 부근에 분포되어있다. 표적 반사파

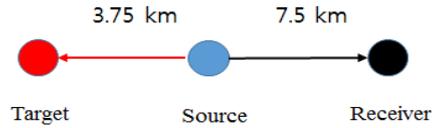
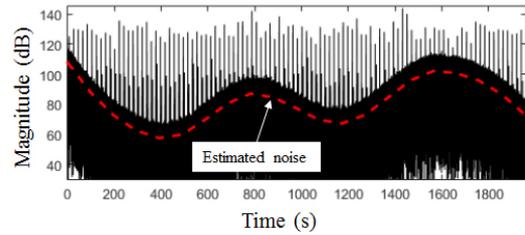
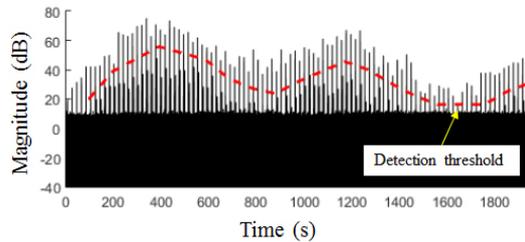


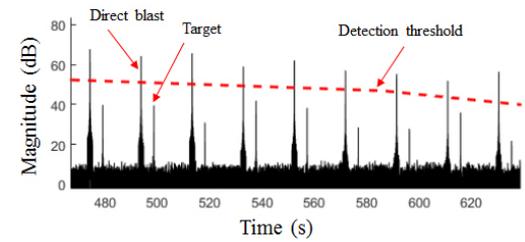
Fig. 5. Simulation scenario.



(a)



(b)

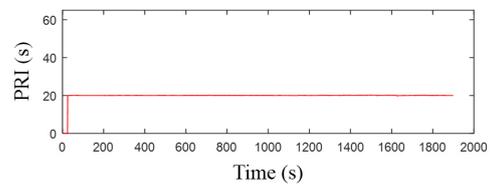


(c)

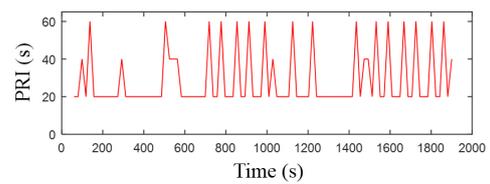
Fig. 6. Results of direct blast detections. (a) matched filter output, (b) noise normalization output, and (c) an expanded figure of (b).

Table 1. Algorithm parameters.

Parameter	Values
K	50
L_{min}	1 dB
L_{max}	140 dB
α	CW (Continuous Wave) pulse: 0.001
	FM (Frequency Modulated) pulse: 0.0003
γ	CW pulse: 1e-10
	FM pulse: 1.5e-11
T_{tr}	10 dB
β	0.1
μ	0.15
ρ	0.3



(a)



(b)

Fig. 7. Results of PRI estimated by (a) proposed method, and (b) autocorrelation method.

중 일부는 배경소음에 묻혀서 보이지 않는다. 여기서 점선은 잡음준위 추정 값을 나타낸다. Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 잡음준위 추정 값으로 규준화한 결과이며 점선은 제안한 기법을 통해 획득한 직접파 탐지 임계치이다. Fig. 6(c)는 Fig. 6(b)의 460 s ~ 640 s 구간을 확대한 그림이다. Fig. 6(c)에는 직접파와 바로 뒤에 따라오는 표적 반사파가 잘 나타나있으며 직접파 탐지 임계치가 표적 반사파에 걸리지 않으면서 직접파는 탐지되도록 세팅이 되어있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6(a)의 모의신호 정합필터 출력에 대한 PRI 추정 결과를 나타내며 Fig. 7(a)는 제안 기법, Fig. 7(b)는 자기상관을 이용한 PRI 추정^[7] 기법을 적용한 결과이다. 제안 기법은 모든 구간의 PRI를 20 s로 제대로 추정하였지만 자기상관을 이용한 기법은 PRI를 40 s 및 60 s로 잘못 추정한 결과를 나타내고 있다. 이는 자기상관을 이용한 PRI 추정 기법이 시간에 따라 동일한 준위를 갖는 임펄스 신호들에 효과적인 알고리즘이며 임펄스 신호들의 준위가 시간에 따라 변하는 경우 실제 PRI의 배수만큼 잘못 추정될 수 있음을 보여준다. 하지만 제안 기법은 모든 가상 임계치에 대하여 PRI가 안정적으로 유지되는 영역을 찾기 때문에 임펄스 신호의 준위가 변하는 환경에서도 정확한 PRI 추정이 가능하다. 결과적으로 모의신호의 경우 100개의 직접파 신호에 대해서 직접파 PRI 추정을 위한 초기 두 개의 직접파를 제외하고는 모두 탐지되는 성능을 보여주었다. 만약 제안하는 기법을 적용하지 않고 규준화 후 고정된 임계치로 직접파를 탐지할 경우 탐지 확률과 오탐지 확률은 데이터에 따라서 달라질 가능성이 크다. Fig. 8(a)는 Fig. 6(b)에 나타난 정합필터 규준화 출력신호에 대해 고정 임계치로 직접파를 탐지했을 때의 탐지/오탐지 확률을 나타낸다. Fig. 8(a) 가로축은 탐지 임계치 준위이며 탐지 임계치를 15 dB로 설정하였을 때 탐지 확률은 100%가 되지만 오탐지 확률도 60%가 넘어 간다. 이는 표적 반사파도 정합필터 출력 형태가 직접파와 비슷한 임펄스 신호 특성을 보이기 때문이며 표적 반사파에 의한 오탐지 확률을 낮추기 위해 탐지 임계치를 높게 되면 탐지 확률도 줄어들게 된다. 결론적으로 Fig. 8에서 탐지 확률 100%, 오탐지 확률 0%를 만족하는 임계치 준위는 존재하지 않는다.

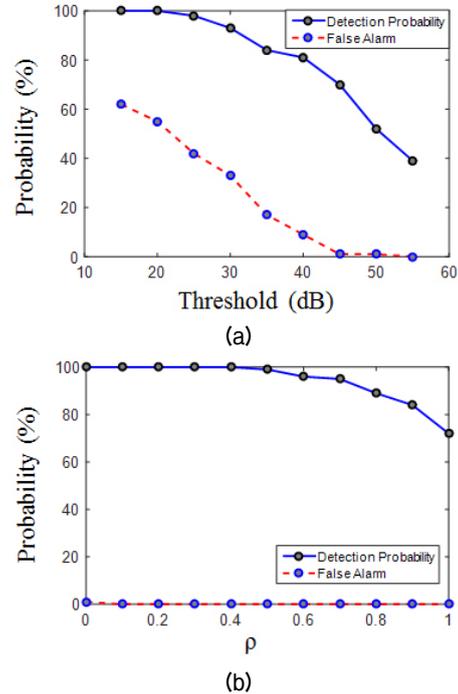


Fig. 8. Detection and false alarm probability (a) for fixed thresholds and, (b) proposed method.

Fig. 8(b)는 제안한 기법의 탐지/오탐지 확률을 나타낸다. 성능에 영향을 주는 파라미터 값 ρ 를 0에서 1까지 0.1씩 증가시켜가며 획득한 탐지 성능 결과인데 ρ 가 0일 때는 탐지확률 100%, 오탐지확률 1%이며 ρ 가 0.1~0.4까지는 탐지확률 100%, 오탐지확률 0%의 성능을 보여주었다. 물론 직접파 및 표적 반사파 준위의 평균 및 분산에 따라 적절한 ρ 값이 달라지지만 다양한 데이터에 대하여 분석해본 결과 ρ 가 0.3일 때 탐지성능이 가장 좋은 것으로 관찰되었다.

3.2 해상실험

앞 절에서는 모의 신호를 통해 직접파뿐만 아니라 표적 반사파가 강하게 수신되는 환경에서의 성능 분석을 수행하였으나 실제 해상 환경은 표적 반사파 외에도 주변 선박 소음, 다중경로 신호, 해저 지형에 의한 반사파 등의 다양한 간섭 신호가 존재하기 때문에 실제 환경에서 획득한 데이터로부터 성능을 분석해볼 필요가 있다. 이를 위하여 간섭 소음이 많은 천해에서 수신배열 센서의 중심으로부터 음원이 4 km에서 12 km 거리까지 정지 및 멀어지는 기동을 하

면서 일정한 PRI로 능동펄스를 송신하였다. 주변에 많은 선박들로 인해 배경 소음의 준위가 급격히 변하는 구간이 많았으며 배경 소음 준위는 대략 현대역기준으로 90 dB~110dB으로 추정된다. 능동펄스는 CW 펄스 및 FM 펄스를 사용했고 송신 음압은 190 dB, 펄스의 길이는 0.5 s, 1 s로 설정하였다. 모의신호와 마찬가지로 해상실험 분석에 적용한 알고리즘과 라미터 값은 Table 1과 같다.

Fig. 9는 약 24 분 동안 획득한 데이터에 대한 직접파 탐지 결과를 나타낸다. 사용된 펄스는 CW, 펄스 길이는 1 s, PRI는 15 s이다. Fig. 9(a)의 점선은 잡음준위 추정 결과이고, Fig. 9(b)는 잡음 기준화 결과이다. Fig. 9(a)의 정합필터 출력을 통해 배경소음이 주변 환경에 의해 급격히 변하는 것을 알 수 있으며 잡음준위 추정곡선이 직접파를 제외한 배경소음 준위의 변화를 잘 추정한 것을 확인할 수 있다. 변화를 잘 추정한 것을 확인할 수 있다. Fig. 9(b)의 V_{max} , V_{min} 은 Eq. (8)에 표현된 V_{max} , V_{min} 과 같으며 직접파 준위 추정 영역의 상/하한선을 의미한다. 직접파 탐지 임계치가 일정한 간격으로 탐지되는 직접파 준위의 상한선과 하한선을 바탕으로 잘 추정되고 있으며 배경소음 준위와 직접파 준위 사이를 명확하게 분리하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 지나가는 선박 등의 외부 요인에 의해 배

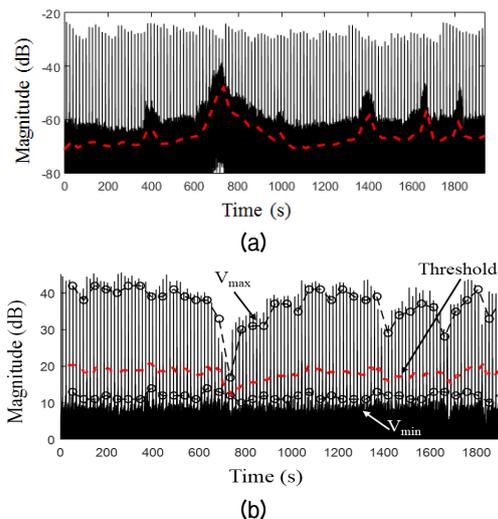


Fig. 9. Results of direct blast detections(CW pulse). (a) Matched filter output, and (b) detection results.

경소음 준위가 급격하게 변하는 상황에서의 직접파 탐지 결과를 나타낸다. 사용된 펄스는 FM, 펄스 길이는 0.5 s, PRI는 10 s이다. 그림을 통해 확인할 수 있듯이 잡음준위 추정이 정합필터 출력 배경소음의 변화를 잘 따라가지 못해 정합필터 기준화 출력에도 배경소음이 급격히 변하는 구간이 생긴다. 그러나 직접파 탐지 임계치가 배경소음의 변화를 잘 따라가면서 직접파 탐지가 정상적으로 수행되었음을 보여주고 있다.

Fig. 11은 약 30 분간의 해상실험 데이터로부터 추정된 PRI 결과를 보여주고 있다. Fig. 11(a)는 제안 기

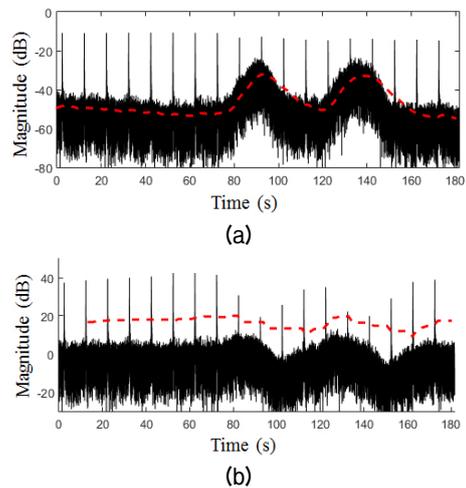


Fig. 10. Results of direct blast detections(FM pulse). (a) Matched filter output, and (b) detection threshold.

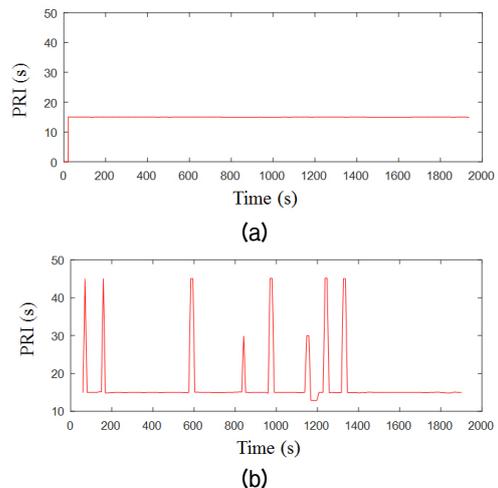


Fig. 11. Results of PRI estimated by (a) proposed method, and (b) autocorrelation method.

법, Fig. 11(b)는 자기상관을 이용한 PRI 추정 기법으로 추정된 결과이며 실제 PRI는 15 s이다. 제안 기법은 모든 구간의 PRI를 15 s로 제대로 추정하였지만 자기상관을 이용한 기법은 PRI를 30 s 및 45 s로 8 개의 펄스에 대하여 잘못 추정한 결과를 보여주고 있다. 이는 PRI 추정의 입력이 전달 손실과 주변 잡음 등으로 인해 직접파의 준위가 지속적으로 변하는 실제 환경에서 획득한 데이터이기 때문이다. 제안하는 기법은 PRI 추정을 통해 직접파를 탐지하고 표적의 위치를 산출하는 방법으로 정확한 PRI 추정이 필수적이다. 해상에서 획득한 약 2000개의 직접파에 대해 제안하는 직접파 탐지 기법을 수행해본 결과 대부분 직접파를 잘 탐지하는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문의 모의실험 데이터 분석 결과 제안하는 알고리즘이 직접파와 표적 반사파를 잘 구분하여 직접파만 탐지하는 것을 확인하였다. 또한 해상실험 분석을 통해 배경소음 준위 및 직접파의 준위가 급격히 변하는 환경에서 직접파 탐지 임계치가 배경소음과 직접파 준위를 구분하면서 직접파를 정상적으로 탐지하는 것을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 음원의 송신 시간 정보를 수신센서와 공유하지 않는 비동기 양상태 소나 시스템에 적극 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 본 알고리즘을 적용한 양상태 소나의 표적 위치 추정 오차를 분석할 예정이다.

References

1. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing* (Artech House, London, 1991), pp. 187-230.
2. A. D. Waite, *SONAR for Practising Engineers* 3rd Ed. (John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom, 2002), PP. 161-220.
3. P.A.M. de Theije and J.-C. Sindt, "Single-ping target speed and course estimation using a bistatic sonar," *IEEE J. Ocean. Eng.*, **31**, 236-243 (2006).
4. Y. T. Chan, *Underwater Acoustic Data Processing* (Springer, Netherlands, 1989), pp. 3-24.
5. M. Svarc, L. Brnak and M. Richterova, "Perspective

methods of radar pulse classification," *Int. Conf. Military Technologies*, (2015).

6. R. G. Waghmare, S. L. Nalbalwar and A. Das, "Transient signal detection on the basis of energy and zero crossing detectors," *Procedia Engineering*, **30**, 129-134 (2012).
7. K. Nishiguchi and M. Kobayashi, "Improved algorithm for estimating pulse repetition intervals," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, **36**, 407-421 (2000).

저자 약력

▶ 정 의 철 (Euicheol Jeong)



2011년 2월: 송실대학교 전자공학과 학사
2013년 2월: 송실대학교 전자공학과 석사
2013년 9월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

▶ 안 재 균 (Jae-Kyun Ahn)



2007년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학과 학사
2009년 2월: 고려대학교 전자전기공학과 석사
2014년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학과 박사
2014년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임 연구원

▶ 김 주 호 (Juho Kim)



2010년 2월: 제주대학교 전기전자전파공학과 학사
2012년 2월: 제주대학교 해양시스템공학과 석사
2016년 2월: 제주대학교 해양시스템공학과 박사
2016년 9월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임 연구원