

잠수함의 방수펄스탐지 성능 향상을 위한 문턱값 자동 조절 방법

김도영^{1*}, 신기철¹, 엄민정¹, 권성철¹

¹LIGNex1

A method for automatically adjusting threshold to improve the intercept pulse detection performance of submarine

Do-Young Kim^{1*}, Kee-Cheol Shin¹, Min-Jeong Eom¹, Sung-Chur Kwon¹

¹LIGNex1 Co.,Ltd,

요약 잠수함의 방수펄스탐지는 적 수상함 및 잠수함, 어뢰 등에서 방사하는 펄스를 탐지하여 자함의 기동 및 생존성을 제공하는 중요한 기능을 수행한다. 방수펄스탐지 여부는 수신한 펄스의 크기와 운용자가 설정한 문턱값의 비교를 통해 결정된다. 방수펄스는 다양한 해양 환경요인의 영향으로 펄스의 세기가 작아지는 경우가 빈번하게 발생한다. 이런 상황에서 고정 문턱값으로 탐지를 수행할 경우 미탐지 문제가 발생되며 운용자가 낮은 문턱값을 설정하기 전까지 지속된다. 본 논문은 고정 문턱값으로 발생하는 미탐지 문제를 줄이기 위한 문턱값 자동 조절 방법을 제안하였다. 펄스 레벨 변동 폭이 다른 4가지 케이스로 시뮬레이션을 수행하였고 모든 케이스에서 문턱값 자동 조절 방법을 적용했을 때 탐지 개수가 증가하여 탐지 성능이 향상됨을 확인하였다. 제안한 방법을 통해 향후 펄스 레벨의 변동이 큰 해양환경에서 방수펄스탐지 성능 향상을 기대해본다.

• 주제어 : 잠수함, 방수펄스탐지, 고정 문턱값, 미탐지, 자동 조절 문턱값

Abstract The submarine's intercept pulse detection detects pulses radiated from enemy surface ships, submarines, and torpedoes, and performs an important function of providing maneuverability and survivability of submarine. Whether or not the intercept pulse is detected is determined by comparing the size of the received pulse with the threshold value by the operator. In the case of intercept pulses, the intensity of the pulses is frequently reduced under the influence of various environmental factors. In the situation, if detection is performed with a fixed threshold, a non-detection problem occurs and persists until the operator sets a low threshold. In this paper, we proposed method for automatically adjusting threshold to reduce the non-detection problem caused by a fixed threshold. Simulation were performed on 4 cases with different pulse level fluctuation widths, and it was confirmed that the detection performance was improved by increasing the number of detections when a method for automatically adjusting threshold was applied to all cases. Through the proposed method, it is expected that the intercept pulse detection performance will be improved in the marine environment the large fluctuations in pulse level in the future.

• Key Words : submarine, intercept pulse detection, fixed threshold, non-detection, automatically adjusting threshold

Received 29 November 2021, Revised 29 December 2021, Accepted 30 December 2021

* Corresponding Author Kim, Do-Young, LIG Nex1 Co.,Ltd, 333, Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-City, Gyeonggi-do, 13488, Korea.
E-mail: doyoung.kim@lignex1.com

I. 서론

잠수함에서의 소나는 음파 송신 후 표적에 반사된 신호를 수신하여 정보를 얻는 능동 소나와 표적에서 방사되는 소리를 수신하여 정보를 얻는 수동 소나로 분류된다[1]. 적 수상함 및 잠수함, 어뢰 등에서 송신하는 신호를 탐지하는 방수 펄스탐지는 수동 소나의 기능 중 하나로서 표적으로부터 방사한 방수 펄스를 탐지하고 탐지된 표적의 위치를 통해 자함의 기동 결정 및 어뢰에 대한 회피 정보를 제공하는 등 생존성을 높이는 매우 중요한 역할을 수행한다[2].

여기에서 방수 펄스탐지는 운용자가 설정한 문턱값을 통해 탐지 여부를 판별하게 되며 수신된 신호의 크기가 문턱값보다 크면 탐지가 된다. 설정한 문턱값은 운용자가 재설정하기 전까지 고정되어 탐지에 적용되며 탐지가 되지 않는 미탐지인 경우 운용자는 문턱값을 낮춰서 탐지를 시도하게 된다. 그 과정에서 미탐지된 방수 펄스는 운용자가 문턱값을 재설정하는 시간만큼 발생하게 된다. 또한, 운용자는 적절한 문턱값 선택이 쉽지 않다. 가령, 탐지를 위한 낮은 문턱값 설정으로 인해 의도치 않는 해양 소음을 탐지하는 오탐지 문제가 발생할 수도 있기 때문이다[3].

이처럼 고정 문턱값을 사용하여 탐지를 수행할 경우, 해양환경 요인으로 인해 방수 펄스가 왜곡되어 크기가 변화되는 상황에서는 운용자의 숙련도에 따라 탐지 성능이 많은 영향을 받게 된다[4].

이에 본 논문에서는 방수 펄스탐지 성능을 향상하고자 문턱값 자동 조절 방법을 제시하였다. 시뮬레이션을 통해 고정 문턱값 대비 자동 조절 문턱값에서 방수 펄스 탐지 개수가 크게 향상되는 것을 여러 케이스에서 확인 할 수 있었다. 본 논문은 서론에 이어, 2장에서는 방수 펄스탐지 과정에 대한 설명과 문턱값 조절 판단을 위한 레벨 조건, 펄스 반복 주기 조건, 협대역 특성 조건 등에 관해 설명한 후 해당 조건에 따라 문턱값이 자동 조절되는 기법을 서술한다. 3장에서는 자동 조절된 문턱값과 기존 고정 문턱값과의 비교 시뮬레이션을 수행하고 결과를 분석하며, 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1 방수펄스탐지 과정

방수 펄스탐지는 그림 1과 같이 입력신호에 대해 원음 스펙트럼을 생성하고 추정된 잡음 준위를 이용하여 원음 스펙트럼에서 잡음 준위를 빼주어 규준화를 수행한 뒤 규준화 레벨이 문턱값을 넘는 탐지된 신호에 대한 탐지정보를 산출하는 과정을 가진다.

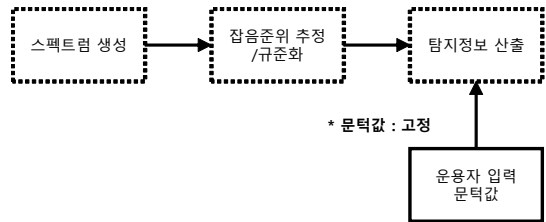


Fig. 1. Intercept pulse detection using fixed threshold

그림 1의 기존 방수 펄스탐지는 운용자가 설정한 고정된 문턱값이 재설정 전까지 그대로 유지되어 탐지를 수행하면서 펄스의 레벨이 작아지는 구간이 발생하면 미탐지가 되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 그림 2와 같이 자동 조절된 문턱값을 적용하여 탐지를 수행하는 구조를 제시한다.

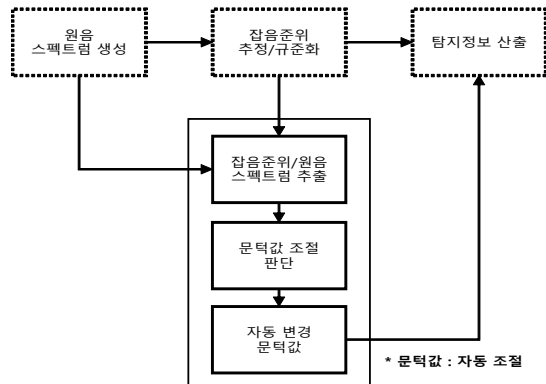


Fig. 2. Intercept pulse detection using adjusted threshold

제시된 그림 2의 방수 펄스탐지 과정은 문턱값이 자동 조절되어 탐지를 수행하는 과정을 보여주며 기존 문턱값은 잡음 준위와 원음 스펙트럼 데이터를 추출하고 이를 입력으로 하는 문턱값 조절 판단 블록을 거쳐 변경된 문턱값으로 갱신되어진다.

2.2 문턱값 조절 판단

문턱값 조절 판단은 방수펄스의 특징을 이용한 조건을 획득하고 해당 조건의 만족 여부에 따라 결정된다. 조건을 만족할 경우 새로운 문턱값은 기존 문턱값에 미리 설정된 상수를 빼거나 더하여 자동 조절한다.

방수펄스 특징을 이용한 조건은 다음과 같다.

첫째로 방수펄스는 잡음준위에 비해 큰 레벨의 크기를 가지므로 추출된 잡음준위와 원음 스펙트럼 데이터 간의 크기를 비교하여 해당 구간에 펄스가 존재하는지 여부를 판단하는 레벨 조건이 만족 되어야 한다. 둘째로 방수펄스는 특정 주기를 가지고 반복적으로 수신되는 특징을 가지므로 레벨 조건을 만족하는 신호의 구간이 펄스반복주기 조건에 맞는지 판단한다. 마지막으로 해당 신호가 협대역 특성을 가지고 있는지를 판단한다[5]. 방수펄스는 일반적으로 CW, FM, CW/FM 등의 변조방식으로 송신하며 좁은 대역폭을 사용하므로 협대역 특성을 만족해야 한다[6].

위 조건을 모두 만족하는 경우 해당 구간에서 펄스가 존재하는 것으로 보고 그때의 기준화 값과 현재 문턱값을 비교하여 문턱값을 조절하고 변경된 문턱값은 다음 구간에 적용하여 탐지를 수행한다.

2.2.1 레벨 조건

잡음준위와 원음 스펙트럼 간의 레벨을 비교하여 잡음준위 대비 원음 스펙트럼 레벨이 설정된 값 이상 클 경우 레벨 조건을 만족하게 된다. 식(1)은 k 번째 주파수 bin의 l 시간 프레임에서의 잡음준위를 $\hat{N}(k, l)$ 라고 하고 원음 스펙트럼을 $S(k, l)$ 라고 할 때 레벨 조건 여부 $P_v(k, l)$ 의 조건식을 나타낸다. 여기서 α 는 미리 설정된 상수이며, 해양환경을 기반으로 설정되는 변동 가능한 상수 값이다.(본 논문은 잡음준위 대비 원음 스펙트럼의 레벨이 10배 이상 큰 경우에 방수펄스가 존재하는 해양환경을 가정하여 $\alpha = 10$ 으로 설정하여 실험결과를 도출함.)

$$P_v(k, l) = \begin{cases} 1 & S(k, l) \geq \alpha \hat{N}(k, l) \\ 0 & else \end{cases} \quad (1)$$

2.2.2 펄스반복주기 조건

레벨 조건을 만족하는 신호가 존재할 때 이전 펄스의 시작 시간과 해당 신호의 시작 시간과의 차이를 산

출하여 펄스반복주기 조건을 판단하게 된다. 그림 3과 같이 이전 펄스 신호에서의 펄스반복주기 τ_1 과 레벨 조건 만족 신호의 펄스반복주기 τ_2 를 비교하여 값이 허용 오차 범위 내에 있을 경우 펄스반복주기 조건을 만족한다고 본다.

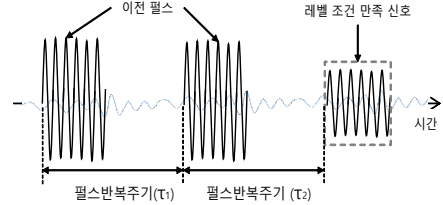


Fig. 3 Pulse repetition interval condition

식(2)는 펄스반복주기 조건 여부 $P_{PRI}(k, l)$ 의 조건식을 나타낸다.

$$P_{PRI}(k, l) = \begin{cases} 1 & (\tau_1 - \tau_2) \leq \epsilon \\ 0 & else \end{cases} \quad (2)$$

단, $\epsilon = \pm 5\%$ (펄스반복주기 허용 오차)

2.2.3 협대역 특성 조건

레벨 조건과 펄스반복주기 조건을 모두 만족하는 신호는 최종적으로 협대역 특성을 가져야만 방수펄스로 판단한다. 협대역 신호는 주변 주파수와 비교해 특정 주파수 bin의 에너지가 크므로 주변 bin들의 에너지 기준화 값을 산출하고 해당 원음 스펙트럼 값과 비교해 협대역 특성 여부를 판단한다. 주변 bin들의 에너지 기준화 값 $N_{normal}(k, l)$ 은 식(3)을 통해서 얻어진다[7].

$$N_{normal}(k, l) = \frac{1}{W-G} \left[\sum_{m=-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} |S(k, l+m)|^2 - \sum_{m=-\frac{G}{2}}^{\frac{G}{2}} |S(k, l+m)|^2 \right] \quad (3)$$

단, $W = 30, G = 10$

협대역 특성 여부 $P_{nb}(k, l)$ 은 식 (4)를 통해 얻어진다.

$$P_{nb}(k, l) = \begin{cases} 1 & \frac{S(k, l)}{N_{normal}(k, l)} \geq \theta \\ 0 & else \end{cases} \quad (4)$$

단, $\theta = 10$

2.2 문턱값 자동 조절

문턱값 조절 판단에서 레벨 조건과 펄스 반복주기 조건 그리고 협대역 특성 조건을 모두 만족한 신호는 방수 펄스가 존재한다고 판단하고 해당 구간의 규준화 데이터를 이용하여 문턱값 조절을 수행한다. 그림 4는 문턱값이 조절되는 프로세스를 나타낸다.

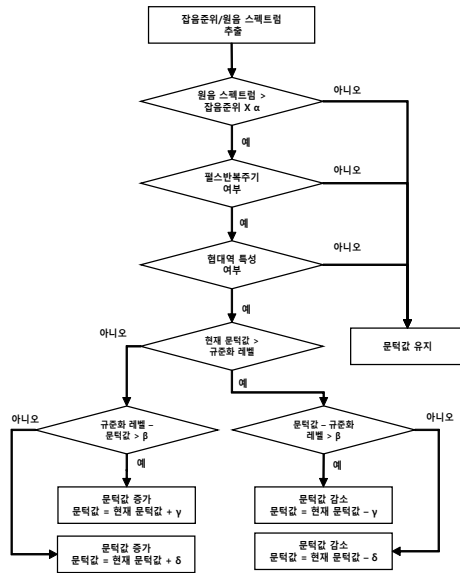


Fig. 4. Adjusting threshold process

그림 4에서와 같이 문턱값 조절 판단 조건에서 하나의 조건이라도 만족하지 않으면 문턱값은 기존 문턱값을 유지한다. 모든 조건 만족 시 현재 문턱값이 규준화 레벨보다 큰 경우와 작은 경우를 분리하여 처리한다. 먼저 문턱값이 큰 경우에는 규준화 레벨과의 차이가 β 보다 큰지 여부를 판단하고 큰 경우에는 현재 문턱값에서 γ 만큼을 뺀 값으로 문턱값을 조정되고 반면 작은 경우에는 δ 만큼을 뺀 값으로 문턱값을 조정한다. 다음으로 문턱값이 규준화 레벨보다 작은 경우에는 규준화 레벨과의 차이가 β 보다 큰지 여부를 판단하고 큰 경우에는 현재 문턱값에서 γ 만큼을 더한 값으로 문턱값을 조정되고 반면 작은 경우에는 δ 만큼을 더한 값으로 문턱값을 조정한다. 이와 같은 과정을 통해 문턱값은 자동 조절되어 진다. 여기서 β, γ, δ 는 미리 설정된 상수이며, 해양환경을 기반으로 설정되는 변동 가능한 상숫값이다.(본 논문은 규준화 레벨과 문턱값 차이의 기준을 5dB로 가정하여

$\beta = 5$ 로 설정하였고, 차이가 5dB 이상인 경우에는 차이를 빠르게 좁히기 위해 $\gamma = 1$ 로 설정하여 1dB 단위로 문턱값을 조정하며 상대적으로 차이가 작은 5dB 이하의 경우에는 $\delta = 0.2$ 로 설정하여 0.2dB 단위로 문턱값을 조정하여 실험 결과를 도출함.) 또한, 문턱값 조절은 펄스 반복주기 조건을 만족해야 하므로 문턱값 조절 주기는 펄스 반복주기와 동일하다.

III. 시뮬레이션 및 결과 분석

3.1 시뮬레이션 시나리오

방수 펄스 모의 신호를 생성하여 시뮬레이션을 수행하였으며 방수 펄스의 규준화 레벨 값이 작아지는 변동 폭이 각기 다른 4가지 경우의 케이스를 임의로 생성하여 제안된 방법에 대한 성능을 비교하였다. 표 1은 방수펄스 모의 신호의 설정값을 나타낸다.

Table 1. Intercept pulse parameter setting value

방수 펄스 파라미터	설정값
표적 방위	45°
펄스 주파수	8,000Hz
펄스 길이	50ms
펄스 반복 주기	500ms
펄스 발생 개수	200개

그림 5는 4가지 케이스의 규준화 레벨 변동 폭을 도식화하여 보여준다. 상세 수치는 표 2와 같다.

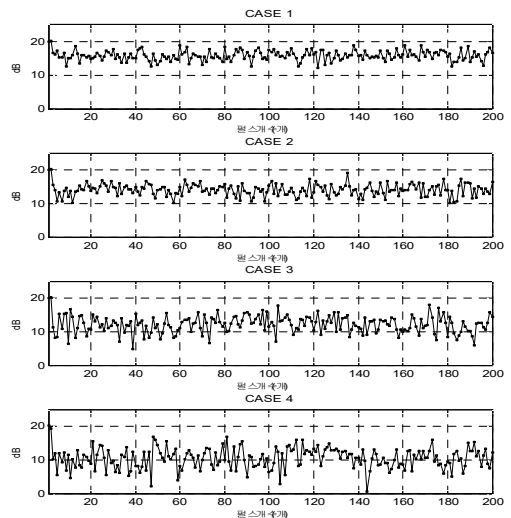


Fig. 5. Normalization level by 4 case type

Table 2. Numerical value of 4 case type

	규준화 레벨(dB)			
	변동 폭	최댓값	최솟값	평균값
CASE 1	8.05	20.24	12.20	15.87
CASE 2	10.22	20.27	10.05	14.02
CASE 3	13.33	20.21	4.87	12.18
CASE 4	19.71	20.23	0.52	10.47

3.2 시뮬레이션 결과 분석

최초 운용자 문턱값은 15dB로 설정하였고 그림 6 ~ 그림 9에 걸쳐 규준화 레벨의 변동 폭이 다른 4가지 케이스에서 최초 설정된 문턱값이 자동 조절되는 것을 보여준다. 규준화 레벨 변동 폭이 점차 증가함에 따라 자동 조절 문턱값의 변화량도 커지는 것을 확인 할 수 있다.

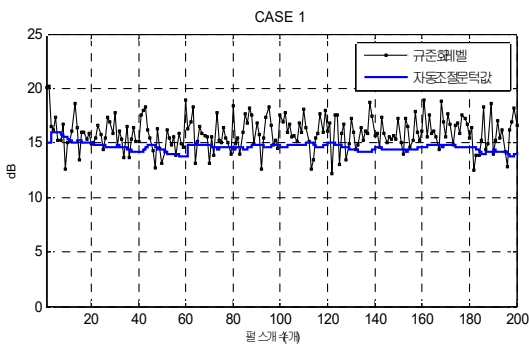


Fig. 6. Automatically adjusting threshold in case 1

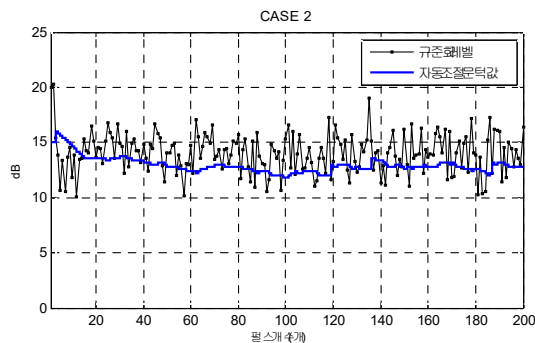


Fig. 7. Automatically adjusting threshold in case 2

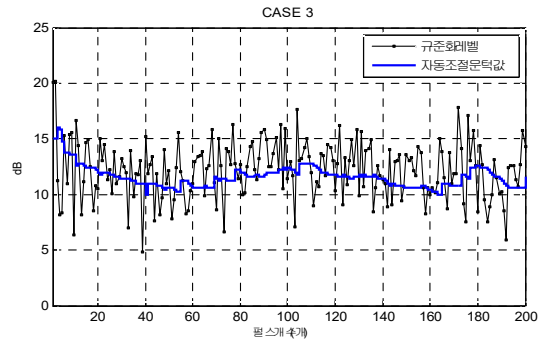


Fig. 8. Automatically adjusting threshold in case 3

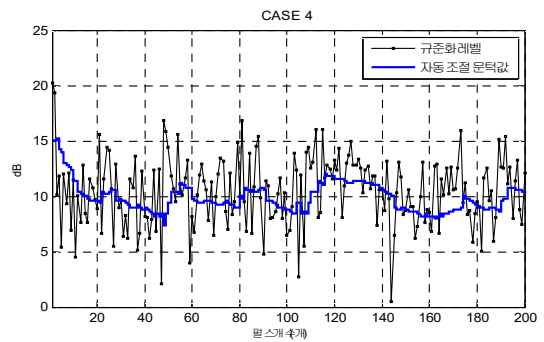


Fig. 9. Automatically adjusting threshold in case 4

그림 6에서와 같이 규준화 레벨의 변화 폭에 작은 경우에는 초기에 조절된 문턱값의 변화 폭이 크지 않다. 반면 그림 9와 같이 규준화 레벨이 크게 변화는 상황에서는 조절 문턱값 또한 그 변화의 폭이 크다.

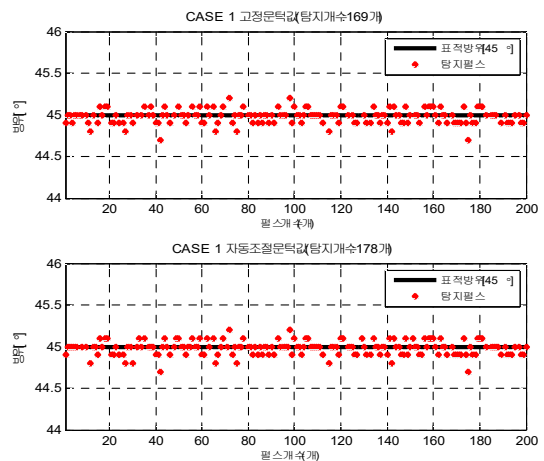


Fig. 10. Fixed threshold vs adjusted threshold in case 1

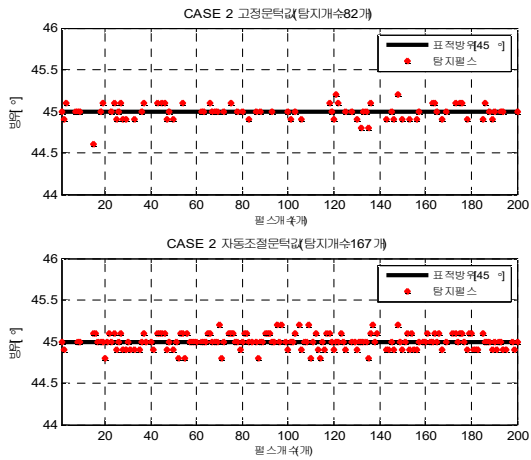


Fig. 11. Fixed threshold vs adjusted threshold in case 2

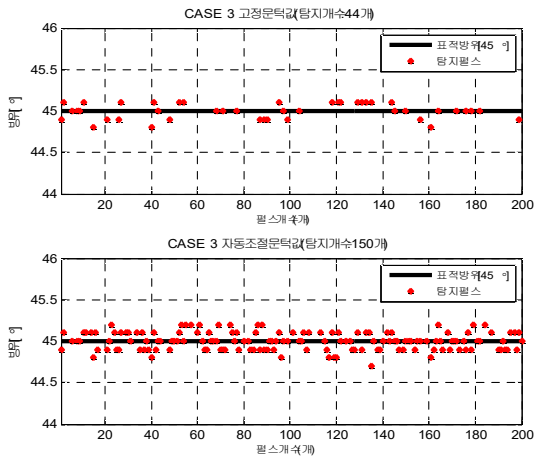


Fig. 12. Fixed threshold vs adjusted threshold in case 3

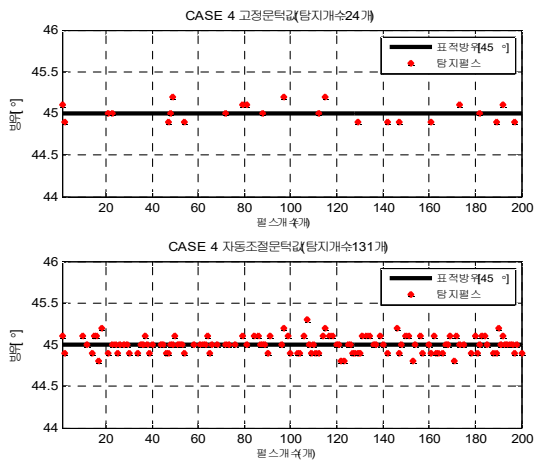


Fig. 13. Fixed threshold vs adjusted threshold in case 4

문턱값 대비 규준화 레벨의 크기에 따라 방수 펄스 탐지 유무가 결정되므로 적절한 문턱값 조정으로 탐지 성능이 향상됨을 예상할 수 있으며 그림 10 ~ 그림 13 을 통해 이를 확인 할 수 있다. 모든 케이스에서 자동 조절 문턱값을 적용했을 때 탐지 개수가 고정 문턱값 대비 많은 것을 보여준다. 케이스 1에서는 탐지 개수가 9개로 근소하게 증가했으나 케이스가 3과 케이스 4에서는 100개 이상으로 크게 증가하였다. 또한, 케이스가 1에서 케이스 4로 갈수록 탐지 개수 차이도 9개에서 107개로 증가했으며 이 결과는 규준화 레벨의 변동이 점차 커지는 환경에서 자동 조절 문턱값을 적용 시 탐지에 더욱 유리함을 확인 할 수 있다.

Table 3. Detection number: fixed vs adjusted threshold

	탐지 개수(개)		탐지 개수 차이
	고정 문턱값(15dB)	자동 조절 문턱값	
CASE 1	169	178	9
CASE 2	82	167	85
CASE 3	44	150	106
CASE 4	24	131	107

VI. 결론

방수 펄스는 다양한 해양 환경요인으로 펄스의 세기가 작아지는 경우가 빈번하게 발생하는데 이런 상황에서 고정된 문턱값을 사용하여 탐지할 경우 펄스의 규준화 레벨이 문턱값보다 작아 탐지가 되지 않는 미탐지 문제를 야기한다. 또한, 운용자가 문턱값을 재설정하기 전까지 미탐지 문제는 계속될 수밖에 없다. 이에 본 논문에서는 운용자에 의해 방수 탐지 성능이 영향을 받지 않고 미탐지 문제를 줄이는 자동 조절 문턱값을 제안하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해 4가지 각기 다른 규준화 레벨 변동 폭을 가지는 상황의 케이스를 생성하여 시뮬레이션을 수행했으며 고정 문턱값 대비 자동 조절 문턱값의 탐지 개수가 4가지 케이스 모두에서 증가했음을 확인하였다. 특히 케이스 1에서 케이스 4로 갈수록 탐지 개수 차이가 커지는 것을 통해 펄스 세기에 크게 영향을 주는 환경에서 탐지에 더욱 효과적임을 확인하였다. 제안된 자동 조절 문턱값 방법은 향후 펄스 레벨의 변동이 큰 해양환경에서 방수 펄스탐지 성능 향상에 도움이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] W. C. Oh, "Sonar Signal Processing Technical," The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 20, no. 10, pp. 71-82, 1993.
- [2] J. N. Sreedavy, R. Pradeepa, V. P. Felix, "A novel algorithm for intercept sonar signal detector," International Symposium on Ocean Electronics(SYMPOL 2009), Cochin, India, 2009, pp. 3-8.
- [3] K. T. Hjelmervik. (2010, April), Predicting Sonar False Alarm Rate Inflation Using Acoustic Modeling and a High-Resolution Terrain Model. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 35(20), pp. 278-287.
- [4] H. S. Hwang, K. T. Park, K. C. Shin, S. I. Cho, A Study on Performance of Symbol Error Rate for Frequency Domain Equalization. Journal of Korea Institute of Signal Processing and Systems. 18(2), pp. 37-42.
- [5] W. S. Son, Y. K. Seo, W. J. Kim, H. N. Kim, Analysis on Signal Transmission Methods for Rapid Searching in Active SONAR Systems. Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers. 55(8), pp. 1021-1031.
- [6] A.D.Waite, Sonar for Practicing Engineers 3th ed. JOHN WILEY & SONS,LTD, 2002.
- [7] D. Y. Kim, D. H. Shin, S. C. Kwon, K. C. Shin, S. I. Cho, "Improvement of Bearing Detection performance & Review of simulation Results of Submarine's Cylindrical Intercept Array Sensor,"Korea Institute of Military Science and Technology(KIMST) Conference, ICC JEJU, 2017, pp. 243-244.

저자소개

김도영 (Do-Young Kim)



2008년 2월 : 한양대학교
전자공학과(공학사)
2010년 7월 : 한양대학교
이동통신전공(공학석사)
2010년 8월~현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR

신기철 (Kee-Cheol Shin)



1996년 2월 : 한국해양대학교
해양공학과(공학사)
1998년 2월 : 한국해양대학교
해양공학과(공학석사)
2003년 8월 : 한국해양대학교
해양개발공학과(공학박사)
2003년~2004년 : 한국과학재단
신진연구원, BB21 박사 후 과정
2005년~현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR

염민정 (Min-Jeong Eom)



2012년 2월: 한국해양대학교
해양공학과 (공학사)
2014년 2월: 한국해양대학교
해양공학과 (공학석사)
2014년 ~ 현재: LIG 넥스원(주)
관심분야 : SONAR

권성철 (Sung-Chur Kwon)



2013년 2월 : 성균관대학교
기계공학과(공학사)
2015년 2월 : KAIST
해양시스템공학(공학석사)
2015년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR