

비협동 양상태 소나 시스템을 위한 펄스식별 자동화 기법 연구

김근환¹⁾ · 윤경식²⁾ · 김성일³⁾ · 정의철³⁾ · 이균경^{*,1)}

¹⁾ 경북대학교 전자공학부

²⁾ 김천대학교 IT융복합공학과

³⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

A Study on the Automatic Pulse Classification Method for Non-cooperative Bi-static Sonar System

Geun Hwan Kim¹⁾ · Kyung Sik Yoon²⁾ · Seong il Kim³⁾ · Eui Cheol Jeong³⁾ · Kyun Kyung Lee^{*,1)}

¹⁾ School of Electronics Engineering, KyungPook National University, Korea

²⁾ Department of IT Convergence Engineering, Gimcheon University, Korea

³⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 13 October 2017 / Revised 28 December 2017 / Accepted 9 March 2018)

ABSTRACT

Recently there is a great interest in the bi-static sonar. However, since the transmitter and the receiver operate on different platforms, it may be necessary to operate the system in a non-cooperative mode. In this situation, the detection and localization performance are limited. Therefore, it is necessary to classify the received pulse from the transmitter to overcome the performance limitation. In this paper, we proposed a robust automatic pulse classification method that can be applied to real systems. The proposed method eliminates the effects of noise and multipath propagation through post-processing and improves the pulse classification performance. We also verified the proposed method through the sea experimental data.

Key Words : 양상태 소나(Bi-static Sonar), 비협동 운용(Non-cooperative Mode), 펄스식별(Pulse Classification)

1. 서론

수중으로 은밀하게 침투하는 표적을 탐지하기 위해 능동소나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 능동소나는 송·수신기가 동일한 플랫폼에 위치한

단상태 소나를 주로 사용하였으나 최근 넓은 탐지 범위와 은밀성 등의 장점이 있는 양상태 소나에 대한 관심이 크게 증가하고 있다¹⁻⁴⁾. 능동소나 시스템에서는 표적을 탐지하기 위해 수신된 표적의 반사파에 정합필터를 적용하는 과정을 거치며, 이때 레플리카(Replica)로 송신펄스가 사용된다. 그러나 양상태 소나의 경우 송신기와 수신기가 서로 다른 플랫폼에서 운용되기 때문에 상황에 따라 플랫폼 사이의 정보공유

* Corresponding author, E-mail: kklee@ee.knu.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

가 어려운 비협동(Non-cooperative)으로 시스템을 운용해야 할 수 있다. 이러한 비협동 운용에서는 송신펄스에 대한 정보가 부족하기 때문에 표적의 탐지, 위치추정 성능이 제한되는 단점이 발생한다. 따라서 비협동으로 시스템을 운용할 경우 송신기로부터 수신된 펄스를 식별하여 정보를 획득하는 과정이 필수적이며 이는 전체 시스템의 성능을 좌우한다^{4,5)}.

능동소나에서 사용되는 펄스는 중심주파수, 대역폭, 펄스길이 등의 특징인자를 가지고 있으며, 전신된 화면을 보고 운용자(Operator)가 펄스를 식별할 수 있다. 그러나 이 경우 운용자의 숙련도에 따라 식별성능이 좌우된다. 또한 비협동으로 운용할 경우 펄스의 송신 시간을 알 수 없기 때문에 식별에 실패할 가능성이 더욱 높다. 따라서 전적으로 운용자에게 의존하는 것은 어려운 일이며 펄스식별을 위한 자동화 기법의 연구가 필요하다. 기존에 연구된 펄스식별 자동화 기법은 미디안, SD&PV, Entropy 등의 탐지기법을 사용하여 펄스의 길이를 추정하고 해당하는 구간에서 특징인자를 추출하였다. 그러나 기존의 펄스식별 기법은 해양환경과 설정 파라미터에 따라 식별 성능의 편차가 크게 나타나기 때문에 실제 시스템에 적용하는 것에 어려움이 존재한다⁶⁾.

본 논문에서는 실제 시스템에 적용 가능한 건설한 성능의 펄스식별 자동화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 모폴로지 기법(Morphology), 미디안 필터(Median Filter)의 후처리 과정을 통해 잡음과 다중경로의 영향을 제거하고 펄스성분을 강조한다. 따라서 수신된 신호로부터 펄스구간을 건설하게 추정하여 전체 펄스 식별 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 비협동 양상태 소나 시스템과 기존의 펄스식별 기법에 대해

서 간략하게 설명하고, 3장에서는 새로운 펄스식별 기법을 제안한다. 4장의 해상실험분석을 통해 제안한 기법의 성능을 검증하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 비협동 양상태 소나 시스템

Fig. 1은 본 논문에서 가정하는 비협동 양상태 소나 시스템을 나타낸 것이며, 송신플랫폼에서 수신플랫폼으로 송신플랫폼의 위치정보가 공유된다. 송신펄스로는 CW 펄스와 LFM 펄스가 사용된다. 수신된 신호는 먼저 빔형성(Beamforming) 기법을 통해 방위별 신호로 나타나게 된다. 그리고 각 방위별로 정합필터를 적용하고 규준화(Normalization)과정을 수행하여 거리-방위 출력력을 얻을 수 있다. 이때 정합필터를 수행하기 위해 레플리카로 송신펄스가 필요하다. 그러나 송신플랫폼으로부터 송신펄스의 정보가 공유되지 않기 때문에 수신신호에서 펄스를 식별하여 정보를 획득하는 과정이 필수적이다. 송신플랫폼의 위치정보를 알고 있기 때문에 해당 방향으로 항상 탐지기법을 동작시켜 송신직접파를 탐지하고 이를 이용하여 펄스를 식별하는 것이 가장 효과적이다. 송신직접파가 탐지되면 탐지된 구간을 가져와서 펄스식별을 수행한다⁶⁾.

Fig. 2에 기존의 펄스식별 기법의 흐름도를 나타내었다. 먼저 송신직접파 탐지 과정에서 펄스의 구간을 추정한다. 이후 능동펄스의 특징인자를 식별하기 위해 시간-주파수 분석을 수행한다. 능동소나 시스템에서 사용되는 송신펄스는 짧은 시간동안 빠르게 변화하는 특징을 가지고 있기 때문에 일반적인 시간-주파수 분석 기법으로는 적절한 특징인자를 추출하는 것이 어렵다. 따라서 적은 개수의 데이터로 비교적 정확한 스펙트럼

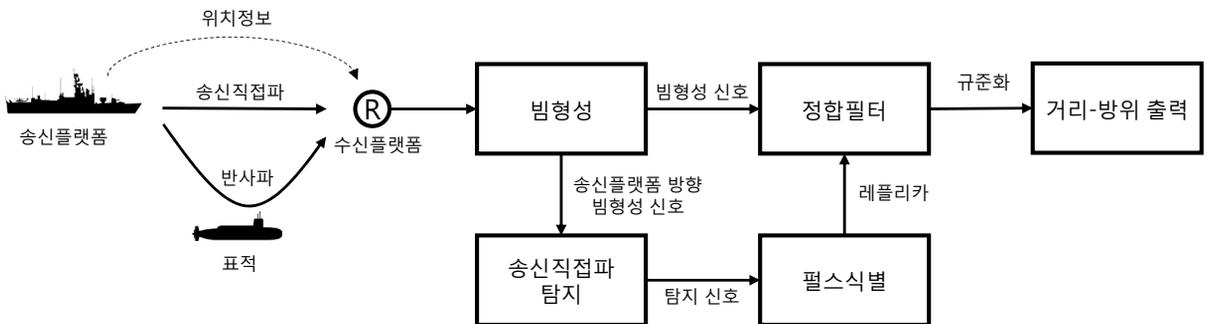


Fig. 1. Non-cooperative Bi-static sonar system

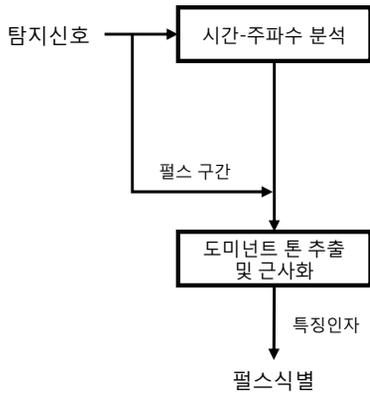


Fig. 2. Block diagram of pulse classification method

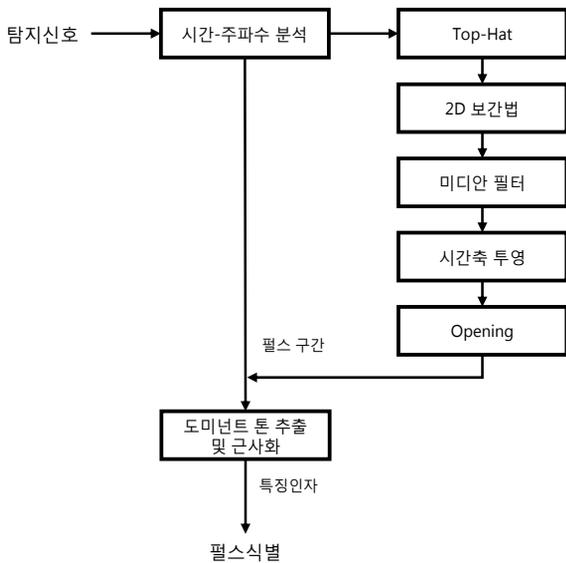


Fig. 3. Block diagram of proposed automatic pulse classification method

추정이 가능하다고 알려진 AR 모델링(Autoregressive Modeling) 기법을 이용하여 시간-주파수 분석을 수행한다⁷⁾. 신호 $x(t)$ 는 AR 모델을 이용하여 식 (1)과 같이 모델링할 수 있다.

$$x(t) = -\sum_{k=1}^p a_k x(t-k) + e(t) \quad (1)$$

여기서 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 는 AR 모델의 계수, p 는 AR 모델의 차수, 그리고 $e(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인

백색 가우시안 잡음이다. AR 모델링 기법으로 모델링된 신호의 파워스펙트럼밀도(Power Spectral Density), 즉 주파수 스펙트럼은 아래와 같다.

$$P_{AR}(f) = \frac{\sigma^2}{|1 + \sum_{k=1}^p a_k e^{-j2\pi f k}|^2} \quad (2)$$

따라서 탐지된 신호를 짧은 슬라이스(Slice)로 분할하여 각각 AR 모델링을 적용하면 시간-주파수 분석을 얻을 수 있으며 펄스의 특징인자 정보를 가지는 도미넌트 톤(Dominant Tone)을 추출할 수 있다. 도미넌트 톤은 각 슬라이스에서 추정된 스펙트럼의 첨두치에 해당하는 주파수 성분을 의미한다. CW 펄스와 LFM 펄스 모두 시간-주파수 영역에서 직선으로 나타나기 때문에 추출된 도미넌트 톤을 1차 근사하여 펄스의 특징인자를 추정할 수 있다.

3. 제안하는 펄스식별 자동화 기법

펄스식별 기법의 자동화를 위해서 가장 중요한 것은 정확한 펄스의 구간을 추정하는 것이다. 기존의 방식은 탐지기법을 이용하여 펄스의 구간을 추정하였다. 그러나 탐지기법만으로 정확히 펄스의 구간을 추정하기 위해서는 윈도우 길이와 같은 파라미터의 적절한 튜닝이 필요하며, 실제 해상환경에서 이 값을 찾는 것은 실질적으로 어려운 문제이다. 또한 수중환경의 복잡한 특성상 다중경로의 영향이 나타날 수 있으며 이는 펄스의 길이를 실제보다 길게 추정하여 식별성을 저하시키는 요인이 된다⁸⁾. 따라서 정확한 펄스식별을 위해서는 견실하게 펄스의 구간을 추정하는 방법이 필요하다.

3.1 제안하는 기법의 흐름도

Fig. 3에 제안하는 펄스식별 자동화 기법의 흐름도를 나타내었다. 먼저 탐지기법의 결과를 이용하여 데이터를 가져오며 데이터는 펄스 전체의 정보를 포함하고 있어야 하므로 앞뒤로 충분한 길이를 가져와야 한다. 그리고 가져온 데이터에 대해서 시간-주파수 분석을 수행하며, 이후 모폴로지 기법과 미디안 필터의 후처리 과정을 적용하여 펄스의 성분을 강조하면서 잡음을 제거한다. 펄스의 구간을 추정하기 위해 잡음이

제거된 시간-주파수 분석 결과를 시간 축으로 투영하여 문턱 값을 적용하며 해당하는 펄스구간에서 도미넌트 톤을 추출하고 이로부터 펄스의 특징인자를 추정할 수 있다.

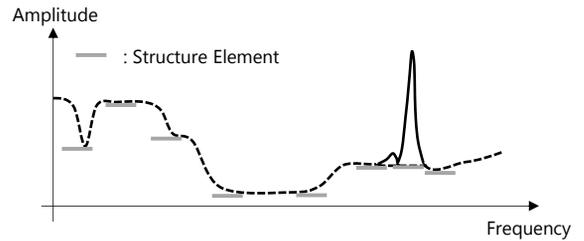
3.2 펄스 성분 강조 및 잡음 제거

탐지된 신호를 짧은 슬라이스로 분할하여 AR 모델링을 적용할 경우 해당 구간의 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있으며, 펄스의 성분에 해당하는 주파수에서 첨두치(Peak)가 나타난다. 1-D 모폴로지 기법 중 Top-Hat 기법은 Fig. 4의 (a)와 같이 직선의 구조 요소(Structure Element)보다 좁은 너비의 첨두치만을 남기고 나머지는 제거하는 특성을 가지고 있다⁹⁾. 따라서 Top-Hat 기법을 시간-주파수 상에서 각 슬라이스마다 적용할 경우 첨두치로 나타나는 펄스의 성분을 강조하는 효과를 얻을 수 있다. 이때 구조요소의 길이는 첨두치 너비를 고려하여 설정해야하며, 현재는 AR 모델링 기법을 이용하기 때문에 AR 모델링 기법의 주파수 해상도를 고려하여 설정한다. Top-Hat 기법을 적용할 경우 잡음으로 인한 첨두치도 동시에 강조하게 된다. 펄스의 성분은 시간-주파수 상으로 연관되어있는 반면 잡음으로 인한 첨두치는 임의로 위치한 임펄스 잡음으로 볼 수 있다. 일반적으로 미디안 필터가 임펄스 잡음을 효과적으로 제거한다고 알려져 있다¹⁰⁾. 따라서 2-D 미디안 필터를 Top-Hat이 적용된 시간-주파수 평면상에 적용하면 펄스의 성분을 강조하면서도 잡음성분을 제거할 수 있다. 이때 시간축과 주파수축의 샘플 개수가 많이 차이나는 경우, 이후 처리과정에서 문제가 발생할 수 있기 때문에 미디안 필터를 적용하기 전에 2-D 보간법(Interpolation)을 적용한다.

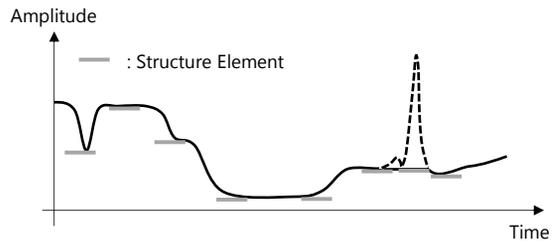
3.3 펄스구간 추정

잡음이 제거된 시간-주파수 분석의 결과를 시간축으로 투영하고 적절한 문턱값을 설정하여 펄스의 구간을 추정할 수 있다. 3.2절의 과정에서 펄스의 성분이 강조되고 잡음이 제거되었기 때문에 환경의 변화에 따라 문턱값을 급격히 변화시키지 않아도 펄스의 구간을 추정할 수 있다. 따라서 제안한 기법은 기존의 탐지기법만을 사용한 경우에 비해 매우 견실한 성능을 가질 수 있다.

그러나 실제 해상환경에서는 다중경로의 영향으로 펄스의 길이가 길어져 보이는 효과가 나타날 수 있다. 다중경로로 인하여 길어진 부분은 시간-주파수 영역에



(a) Original signal(dashed line) and 1D top-hat result (solid line)



(b) Original signal(dashed line) and 1D opening result (solid line)

Fig. 4. One dimensional morphological operators

서 임펄스 잡음으로 나타나지 않으므로 미디안 필터를 통해서 완전히 제거하기 어렵다. 완전히 제거되지 않은 다중경로의 성분은 송신 후 직접적으로 수신되는 송신직접파에 비해 약하게 수신되기 때문에 시간축으로 투영할 경우 펄스성분에 뒤따라오는 짧은 첨두치들로 나타난다. 1-D 모폴로지 기법 중 Opening 기법은 Fig. 4의 (b)와 같이 구조요소보다 좁은 너비의 첨두치를 제거하는 특성을 가지고 있다⁹⁾. 따라서 이를 시간축으로 투영된 결과에 적용할 경우 짧은 첨두치로 나타나는 잡음과 다중경로의 영향을 제거할 수 있다. 이때 Opening의 구조요소를 길게 설정하면 펄스의 성분도 제거하는 부작용이 발생한다. 따라서 구조요소의 길이는 시스템에서 운용하는 펄스 중 최소길이의 펄스를 고려하여 설정해야한다.

3.4 특징인자 추출 및 식별

추정된 펄스의 구간을 이용하여 특징인자를 추출하고 최종적으로 펄스를 식별할 수 있다. 기존의 방식은 추출된 도미넌트 톤에 일반적인 근사 기법을 적용하여 특징인자를 추출하였다. 그러나 앞의 과정에서 제거되지 못한 잡음으로 인해 추출된 도미넌트 톤이 이상값(Outlier)을 가질 수 있기 때문에 근사화 과정에서

오차가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 견실한 성능의 근사 기법을 수행하여 이를 해결한다. 일반적으로 Bi-square 기법을 이용한 근사 기법이 이상값을 효과적으로 제거할 수 있다고 알려져 있으며 본 논문에서도 이를 이용하였다^[11].

근사된 결과를 이용하여 특징인자를 추출하는 과정은 다음과 같다. 먼저 근사된 데이터의 기울기를 확인하여 CW와 LFM 펄스를 구분할 수 있다. CW의 경우 기울기가 0에 가깝지만 LFM의 경우 펄스의 chirp rate에 비례하여 나타나기 때문에 큰 값을 가진다. 펄스를 구분한 이후 특징인자를 추출할 수 있다. 3.3절의 과정에서 추정된 펄스 구간의 시작과 마지막 시간의 차이를 펄스길이, 근사된 데이터의 평균값을 중심주파수, 최댓값과 최솟값의 차를 대역폭으로 추출한다.

4. 해상실험 데이터 분석

제안한 펄스 식별 자동화 기법의 성능을 검증하기 위해 해상실험 데이터를 분석하였다. 해상 실험에 사용된 펄스는 CW 펄스와 LFM 펄스이며 CW 펄스의 중심주파수는 3600 Hz, 펄스길이는 1 sec, LFM 펄스의 중심주파수는 3000 Hz, 대역폭은 600 Hz, 그리고 펄스길이는 1 sec이다. 시간-주파수 분석을 위해 수신된 신호를 128개의 샘플을 가지는 슬라이스로 분할하여 AR 모델링을 수행하였다. AR 모델링의 파라미터 추정에는 Forward-backward approach를 이용하였으며, 차수 p 는 21차이다.

Fig. 5에 수신된 해상실험 데이터 신호와 스펙트로그램을 나타내었다. 스펙트로그램에서 CW 펄스와 LFM 펄스 모두 다중경로로 인한 영향이 나타나는 것을 확인할 수 있으며 CW 펄스의 경우 다중경로 신호가 동일한 주파수를 가지고 들어오기 때문에 구분이 쉽지 않음을 알 수 있다.

Fig. 6에 기존의 방식으로 펄스를 식별한 결과를 나타내었다. 탐지기법으로는 미디안 탐지기가 사용되었으며 탐지기의 윈도우는 512 샘플, 버퍼의 길이는 64 샘플, 그리고 문턱값은 1로 설정하였다^[6]. 그림에서 CW 펄스의 경우 시작점을 제대로 추정하지 못하는 것을 확인할 수 있으며 LFM 펄스의 경우 수신된 신호를 부분적으로 탐지하였다. 따라서 두 펄스의 경우 모두 펄스의 구간을 실제 수신된 것 보다 짧게 판단하였으며, 이로 인해 펄스식별 성능이 저하된다. 이때 CW 펄

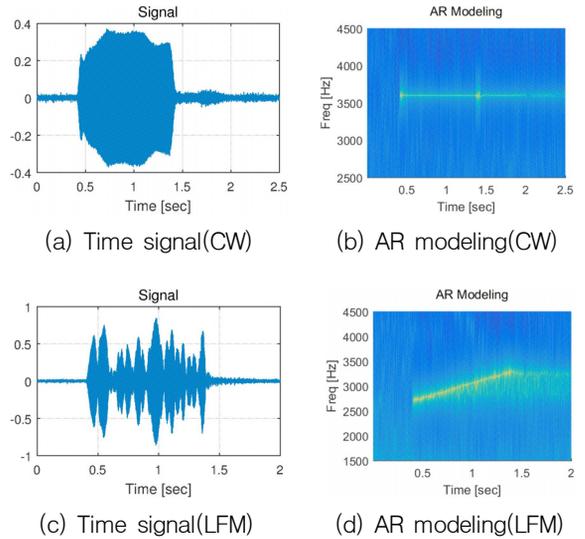


Fig. 5. Ocean experiments data

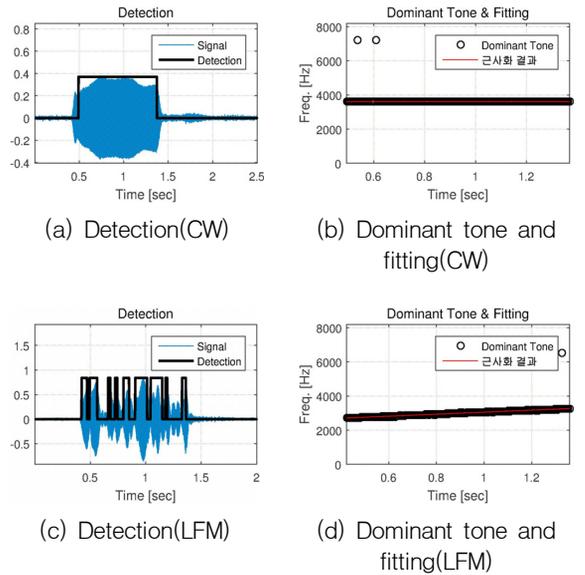


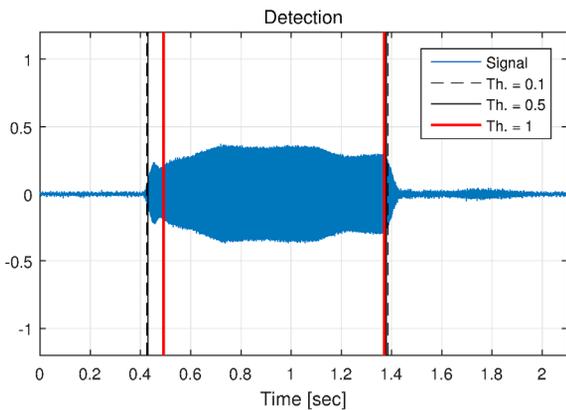
Fig. 6. Pulse classification result of previous method

스에 대해 추정된 특징인자는 펄스길이 0.876 sec, 중심주파수 3599.0 Hz로 추정되었다. 각각의 오차율은 12.4 %와 0.028 %로 중심주파수는 정확하게 추정할 수 있었으나 펄스길이는 오차가 크게 나타났다. LFM 펄스에 대해 추정된 특징인자는 펄스길이 0.935 sec, 중심주파수 2988.9 Hz, 그리고 대역폭 554.5 Hz이다. 각각의 오차율은 6.5 %, 0.37 %, 7.6 %로 중심주파수

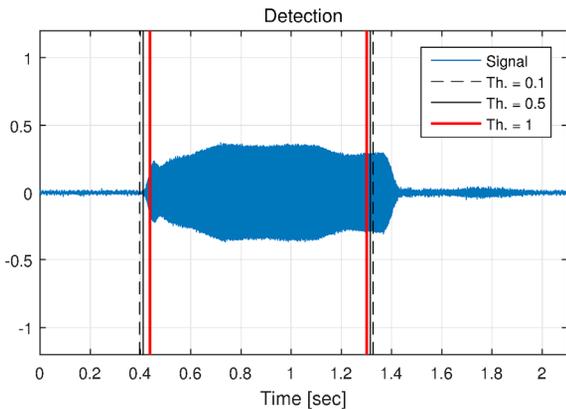
는 정확히 추정하였지만 펄스길이가 대역폭에서 오차가 다소 발생하였다. 현재의 분석결과에서 탐지기의 파라미터를 튜닝하여 펄스식별 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 매번 수신되는 신호에 대해서 항상 적절한 파라미터를 튜닝하는 것은 쉽지 않은 일이다. Fig. 7에 미디안 탐지기의 파라미터를 튜닝하여 LFM 펄스에 대해 적용한 결과를 나타내었으며 탐지기의 성능이 파라미터에 따라 편차가 생기는 것을 확인할 수 있다. 특히 윈도우길이를 길게 설정할 경우 펄스의 뒷부분을 제대로 탐지하지 못하여 펄스식별의 성능이 저하된다.

Fig. 8에 제안한 펄스식별 자동화 기법을 사용한 결과를 나타내었다. Top-Hat 기법의 구조요소는 10 Hz에 해당하는 10 샘플의 직선으로 설정하였으며, 따라서 좁은 너비의 침두치로 나타나는 펄스의 성분을 강조할 수 있다. Opening 기법의 구조요소는 220 샘플의

직선으로 설정하였으며, 이는 0.43 sec의 길이에 해당한다. 즉 0.43 sec 이하의 침두치들은 다중경로의 영향으로 인해 발생한 결과로 간주하게 된다. Fig. 8의 (a)와 (b)에서 Top-Hat 기법을 통해 펄스의 성분을 강조하고 나머지 부분을 제거한 결과를 확인할 수 있다. 또한 (c)와 (d)에서 대부분의 잡음이 미디안 필터를 통해 제거된 것을 확인할 수 있다. Fig. 8 (e)에서 잡음

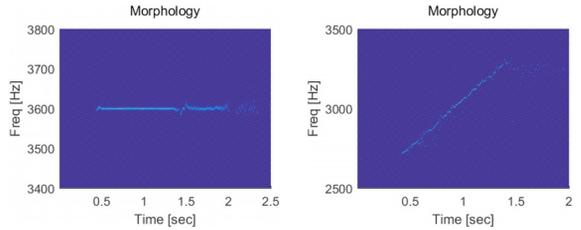


(a) Window length = 512 samples



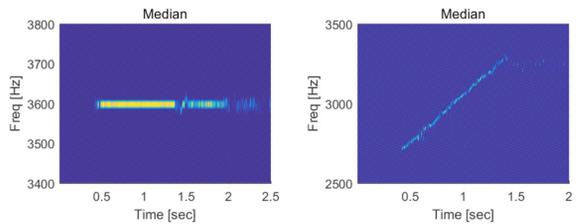
(b) Window length = 2048 samples

Fig. 7 Detection result with various parameter



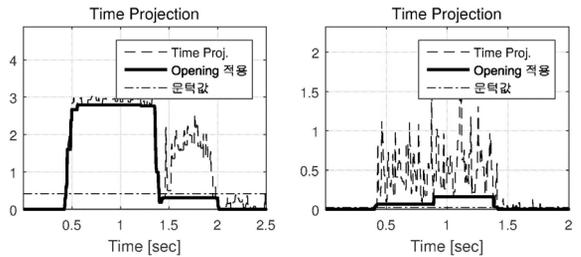
(a) Top-hat(CW)

(b) Top-hat(LFM)



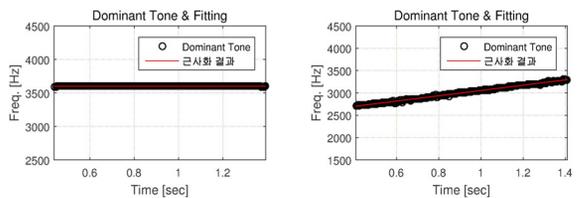
(c) Median filter(CW)

(d) Median filter(LFM)



(e) Projection and opening(CW)

(f) Projection and opening(LFM)



(g) Dominant tone and fitting(CW)

(h) Dominant tone and fitting(LFM)

Fig. 8. Pulse classification result of proposed method

이 제거된 결과를 투영하고 Opening 기법을 적용하여 CW 펄스의 경우 펄스 뒤에 나타나는 다중경로의 침 두치를 제거한 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 펄스길이가 길게 추정되는 것을 방지하였다. 마지막으로 건설한 성능의 근사기법을 사용하여 클리핑의 영향으로 인한 이상값을 제거하고 도미넌트 톤을 정확하게 근사한 것을 확인할 수 있다. CW 펄스에 대해 추정된 특징인자는 펄스길이 0.954 sec, 중심주파수 3599.0 Hz로 추정되었다. 각각의 오차율은 4.6 %와 0.028 %로 중심주파수에 대한 추정은 이전 기법과 차이가 없지만 펄스길이에 대한 추정 성능이 향상되었다. LFM 펄스에 대해 추정된 특징인자는 펄스길이 1.002 sec, 중심주파수 2999.5 Hz, 그리고 대역폭 592.7 Hz이다. 각각의 오차율은 0.2 %, 0.02 %, 1.2 %로 역시 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

그림에서 제시한 데이터 이외에 CW, LFM 펄스 각각 5개의 핑을 추가적으로 분석하였다. 분석결과 CW 펄스의 경우 기존의 기법을 사용하였을 때 펄스길이는 평균적으로 6.05 %의 오차를 가지고 중심주파수는 0.06 %를 가진다. 제안한 기법을 사용한 경우 펄스길이는 평균적으로 3.75 %의 오차를 가지고 중심주파수는 0.06 %를 가진다. 따라서 펄스길이에 대한 추정이 2.3 % 향상되었다. LFM 펄스의 경우 기존의 기법을 사용하면 펄스길이는 평균적으로 5.06 %, 중심주파수는 0.28 %, 그리고 대역폭은 5.95 %의 오차를 가진다. 제안한 기법을 사용한 경우 펄스의 길이는 1.36 %, 중심주파수는 0.13 %, 그리고 대역폭은 1.78 %의 오차를 가진다. 따라서 제안한 기법을 사용한 경우 각각의 추정이 3.7 %, 0.15 %, 4.17 % 향상되었다.

5. 결론

본 논문에서는 비협동 양상태 소나 시스템을 위한 펄스식별 자동화 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 모폴로지 기법, 미디안 필터의 후처리 과정을 이용하여 복잡한 해양환경에서도 우수한 펄스식별 성능을 가질 수 있었다. 제안한 기법의 성능을 검증하기 위해 해상실험 데이터를 분석하였으며, 실제 해상환경에서 다중경로와 잡음의 영향을 제거할 수 있음을 확인하였다. 따라서 제안한 기법을 사용할 경우 기존의 기법에 비해 펄스의 특징인자를 정확히 추정할 수 있었으며, CW 펄스의 펄스길이 추정은 2.3 %, LFM 펄스의

펄스길이, 중심주파수, 대역폭의 추정은 각각 3.7 %, 0.15 %, 4.17 % 향상되었다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD170009DD).

References

- [1] Cox, Henry, "Fundamentals of Bistatic Active Sonar," Underwater Acoustic Data Processing, Springer Netherlands, pp. 3-24, 1989.
- [2] D. H. Lee, T. J. Jung, K. K. Lee and M. Hyun, "Source Information Estimation Using Enemy's Single-Ping and Geographic Information in Non-cooperative Bistatic Sonar," Sensor Journal, IEEE, Vol. 12, No. 9, pp. 2784-2790, 2012.
- [3] Lee, Kwang Hee, et al., "Robust Localization Using Geographic Information in Bistatic Sonar," International Journal of Distributed Sensor Networks 13.6 : 1550147717714172, 2017.
- [4] H. Schmidt-Schierhorn, A. Corsten, B. Strassner, S. Benen, M. Meister, "The Use of Bistatic Sonar Functions on Modern Submarines," UDT EUROPE 2007 Italy, pp. 5-7, 2007.
- [5] Lee, Donghwa, et al., "Source Information Estimation Using Enemy's Single-Ping and Geographic Information in Non-cooperative Bistatic Sonar," IEEE Sensors Journal 12.9 : 2784-2790, 2012.
- [6] K. K. Lee, A Study on the Robust Feature Extraction and Classification Algorithm for Shore Based Classification Center, Research and Development Report, Agency for Defense Development, 2006.
- [7] Stoica, Petre, and Randolph L. Moses. Spectral Analysis of Signals, Vol. 1, Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [8] Robert J. Urick, Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill, USA, 1967.
- [9] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, and Steven L. Eddins, Digital Image Processing using MATLAB,

Gatesmark Publishing, pp. 334-377, 2009.

- [10] Vijaykumar, V. R., G. Santhana Mari, and D. Ebenezer, "Fast Switching based Median-mean Filter for High Density Salt and Pepper Noise Removal,"

AEU-International Journal of Electronics and Communications 68.12 : 1145-1155, 2014.

- [11] J. Fox, Robust Regression Sage, Thousand Oaks, CA, Tech. Rep., 2002.