

논문 2015-52-5-18

근접센서를 이용한 수중 표적 정보 추정기법

(Underwater Target Information Estimation using Proximity Sensor)

김 정 훈*, 윤 경 식**, 서 익 수***, 이 균 경****

(JungHoon Kim[Ⓢ], KyungSik Yoon, IkSu Seo, and KyunKyung Lee)

요 약

본 논문은 근접센서를 이용하여 수중 표적의 정보를 추정하는 수동소나 신호처리 기법을 제안한다. 이 기법은 수중 센서망을 구성하는 단일 센서에서 수행되며 계층적 신호처리 구조를 가진다. 이를 통해 추정되는 표적 정보는 표적의 속도, 깊이, CPA 상황에서의 거리와 방위각이며 계층적 신호처리 구조를 가짐으로써 신호처리 기법의 정확도를 향상시킬 수 있다. 제안하는 기법의 성능을 검증하기 위해 모의실험을 수행하였고 이를 통해 최대 탐지거리 내에서 최대 20%의 오차를 가짐을 확인하였다. 또한 해상실험을 통해 실제 해상환경에서 신뢰성을 가지는지 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose the passive sonar signal processing technique for estimating target information using proximity sensor. This algorithm is performed by single sensor which is constituted underwater sensor network and has a hierarchical structure. The estimated parameter is the velocity, the depth, the distance and bearing at CPA situations and we can improve the accuracy of signal processing techniques through having a hierarchical structure. We verify the performance of the proposed method by computer simulation and then we check the result that 20% error can be occurred in maximum detectable range. We also confirm that proposed method has the reliability in the actual sea environment through the sea experiment.

Keywords : 수중센서망, 신호처리, 수동소나, CPA(Closet Point of Approach), 근접센서

I. 서 론

수중 표적의 정속화로 인해 배경소음이 높은 연안 해역에서는 기존 단일 플랫폼의 운용만으로 수중 표적을 탐지하기 어려워지고 있다. 이에 따라 연안 해역에서 탐지에 이점을 얻을 수 있는 수중센서망 기술이 주목받고 있으며, 신호처리 기법 또한 변화가 요구되고 있다. 현재 연구되고 있는 수중센서망 수동형 신호처리는 수중센서망을 구성하는 센서노드의 형태에 따라 크게 두 가지 방향으로 구분지을 수 있으며 하나는 고기능 배열센서를 이용하는 방법이고^[1] 다른 하나는 저기능 근접센서를 이용하는 방법이다^[2]. 고기능 배열 센서를

* 학생회원, **** 정회원 경북대학교 전자공학부 (Development of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

** 정회원, 김천대학교 언어치료학과 (Development of Speech Therapy, Gimcheon University)

*** 정회원, 국방과학연구소 소나체계개발단 (SONAR Systems PEO, Agency for Defense Development)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: charles86@live.co.kr)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사사를 드립니다.(계약번호 UD130007DD).

Received ; March 16, 2015 Revised ; April 9, 2015
Accepted ; April 21, 2015

이용한 방법의 경우, TASS와 유사한 수준의 배열신호 처리가 가능하지만 센서노드에 과중한 신호처리 부담을 부과하며 전력제한, 수중통신 대역폭 제한, 설치상의 어려움이 존재한다. 반면 저기능 근접센서를 이용하는 방법의 경우 수신된 신호의 에너지 비를 이용하거나 CPA(Closest Point of Approach) 현상을 이용하여 표적을 탐지하고 상태변수를 추정하는 간단한 신호처리 알고리즘을 사용한다. 그러나 이 경우, 다수의 오경보를 발생시킬 수 있으며 표적의 위치 정보를 추정하기 위해서는 다수의 센서를 함께 활용해야 한다^[3]. 이에 본 논문에서는 두 가지 방향의 단점들을 보완하는 형태로서 무지향성 센서와 지향성 센서를 함께 포함하는 저기능 센서를 수중센서망의 센서노드로 사용하는 방안을 제시한다. 이러한 형태의 센서는 지향성 센서를 포함하여 하나의 센서로 표적의 운동 상태를 추정할 수 있으며, 탐지 대상이 근거리 표적으로 제한됨으로써 탐지 거리는 다소 짧아지나 배열센서를 사용하여 가지는 단점들을 피할 수 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 이러한 형태의 센서를 DIFAR(Directional Frequency Analysis and Recording)센서로 가정하며 표적의 CPA 속도와 CPA 거리, 방위각, 깊이를 추정하는 계층적 신호처리 구조를 제안한다.

II. 본 론

제안하는 기법은 그림 1과 같은 계층적 신호처리 구조를 가지며 표적은 등속, 직선 운동을 하며 수신 센서가 해저면에 설치된다고 가정한다. 우선 CPA 탐지를 통해 표적을 탐지하고 센서에 수신된 표적신호 중 탐지 구간의 신호만 획득한다. 이 후 표적의 거리와 속도를 추정하는데 이는 크게 두 가지 신호처리 단계를 거친다. 우선 포락선 CPA를 통해 CPA 상황에서의 거리(d)와 속도(v)의 비($r=d/v$)와 CPA 시간(t_0)을 추정한 뒤 주파수 CPA를 통해 거리와 속도를 \hat{r} 로부터 분리한다. 이 후 추정한 정보와 수신 신호의 캡스트럼(Cepstrum) 분석을 통해 표적의 깊이(h)를 추정한다. 또한 DIFAR 센서의 지향성 센서 신호를 이용해 표적의 방위각(θ)을 추정한다.

CPA 탐지와 방위각 추정 기법의 경우 기존의 연구된 기법을 따르며 표적의 거리와 속도, 깊이를 추정하는 기법의 경우 계층적 신호처리를 구조를 사용하여 표적의 정보

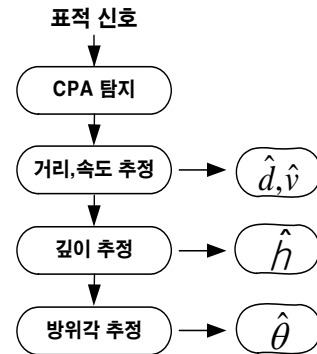


그림 1. 제안한 기법의 계층적 신호처리 구조
Fig. 1. Hierarchical signal processing architecture.

를 더 정확히 추정할 수 있게 한다.

1. CPA 탐지

등속, 직선 운동을 하는 표적의 CPA 탐지는 표적이 센서에 가까이 왔다가 멀어지는 상황을 탐지하는 것이며 본 논문에서는 이를 위해 중앙값(median) 탐지기를 이용한다^[4]. 중앙값 탐지기는 빠르게 변화하는 배경잡음 상황에서 표적 음향신호를 탐지하기 위해 개발되었으며 이와 같은 환경에서 강인한 탐지 성능을 제공하며 다양한 센서 환경에서 표적신호를 탐지할 수 있다.

2. 표적의 속도와 CPA 거리 추정

표적의 속도와 CPA 거리를 추정하기 위해서는 크게 두 가지 신호처리 단계를 거쳐야 한다. 첫 번째 단계는 포락선 CPA 기법으로 표적이 센서에 다가오고 멀어질 때 발생하는 수신 신호의 에너지 변화를 이용하여 표적의 속도(v)와 거리(d)의 비($r=d/v$)와 CPA 시간(t_0)을 추정하는 기법이다^[2]. 두 번째 단계는 주파수 CPA 기법으로 표적이 센서로 접근하였다가 멀어질 때 발생하는 수신 신호의 주파수 변이와 포락선 CPA로 얻은 \hat{r} 과 \hat{t}_0 를 이용해 최종적으로 \hat{d} 와 \hat{v} 를 추정하는 기법이다^[5]. 표적이 센서에 다가오고 멀어질 때 발생하는 수신 신호의 에너지 변화는 다음 식 (1)과 같이 모델링 된다. 이 때 ρ 는 유체의 임피던스, c 는 음파의 속도, S_0 는 음파의 초기 방사 에너지, R 은 거리, d 는 CPA 거리, v 는 속도, t_0 는 CPA 시간을 의미한다.

$$\Pi = \frac{\rho c S_0}{4\pi R^2} \propto \frac{1}{\left(\frac{d}{v}\right)^2 + (t - t_0)^2} \quad (1)$$

식 (1)의 에너지 모델은 r 과 t_0 , t 에 관한 함수로 나타난다. 수신 에너지와 신호모델의 에너지 차를 최소화 하는 r 과 t_0 값은 관측된 구간에 대해 식 (2)와 같은 2차원 탐색 알고리즘을 통해 쉽게 구해진다. 이 때 $E^*(t)$ 는 수신 신호의 에너지 변화, $\tilde{E}(t)$ 는 신호 모델의 에너지 변화를 나타낸다.

$$[\hat{r}, \hat{t}_0] = \underset{r^*, t_0^*}{\operatorname{argmin}} \int_{t=0}^T [\tilde{E}(t) - E^*(t; (r^*), t_0^*)] \quad (2)$$

식 (2)를 통해 \hat{r} 과 \hat{t}_0 를 획득하면 주파수 CPA를 통해 \hat{d} 와 \hat{v} 를 추정할 수 있다. 주파수 CPA를 수행하기 위해서는 표적이 방사는 특정 주파수 정보가 필요로 하며 이를 위해 수신 신호에 많은 신호처리 기법이 적용된다. 다음 그림 2는 주파수 CPA의 신호처리 순서도를 나타낸다.

그림 2의 각 신호처리를 위해서 본 논문에서 적용하는 기법들은 다음과 같다. 우선 수신 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)하고 획득한 주파수 정보의 잡음을 정규화하기 위해 S2PM(Split-Window Two Pass Mean) 기법을 적용한다. 이 후 정규화된 주파수 정보에서 토날(Tonal)을 탐지하고 탐지된 토날을 시간의 흐름에 따라 칼만(Kalman) 필터를 이용하여 추적한다. 탐지 구간동안 모은 토날 정보들은 표적으로부터 방사된 것 인지지를 유지 시간을 토대로 판단하고 표적으로부터 방사되었다고 판단되는 것들을 이용해 \hat{v} 와 \hat{d} 를 추정한다. 표적이 센서에 다가오고 멀어질 때의 주파수 변화는 다음 식 (3)과 같이 모델링되며 f_0 는 표적이 방사하는 주파수를 의미한다.

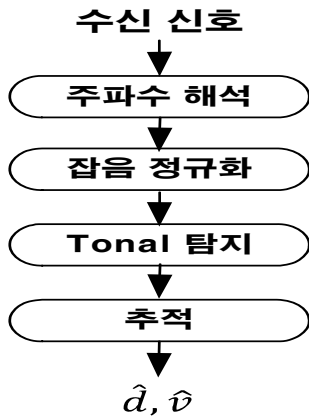


그림 2. 주파수 CPA 순서도
Fig. 2. Flowchart of Frequency CPA.

$$f_t = f_0 \left[1 - \frac{v^2(t-t_0)}{c\sqrt{d^2 - v^2(t-t_0)^2}} \right] \quad (3)$$

일반적으로 식 (3)을 이용해 각 파라미터를 추정하기 위해서는 신호의 시작과 끝이 탐지된 구간 신호에 대하여 4차원 탐색이 요구된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 계층적 신호처리 구조에서는 포락선 CPA를 통해 추정된 정보를 이용하므로 식 (3)은 식 (4)와 같이 변환되며 식 (5)의 2차원 탐색을 이용하여 f_0 와 v 를 추정한다. 이 때 $f^*(t)$ 는 수신 신호의 주파수 변화, $\tilde{f}(t)$ 는 신호 모델의 주파수 변화를 나타낸다. 이와 같이 본 논문에서 제안하는 계층적 신호처리는 상대적으로 적은 연산량을 이용하여 표적의 속도와 CPA 거리를 추정할 수 있는 장점을 가진다.

$$f_t = f_0 \left[1 - \frac{v(t-t_0)}{c\sqrt{r^2 - (t-t_0)^2}} \right] \quad (4)$$

$$[\hat{v}, \hat{f}_0] = \underset{v^*, f_0^*}{\operatorname{argmin}} \int_{t=0}^T [\tilde{f}(t) - f^*(t; v^*, f_0^*)] \quad (5)$$

3. 표적의 깊이 추정

수중에서 표적으로부터 방사된 신호는 해수면 반사와 해저면 반사를 통해 여러 경로로 센서에 수신된다. 센서에 수신된 신호는 경로 간 시간 지연 차이로 인해 간섭효과를 나타내는데 이를 로이드 거울 효과(Lloyd's Mirror Effect)라 한다. 이와 같은 현상을 이용하여 수신 신호의 캡스트럼 분석과 알려진 표적의 깊이를 활용해 표적과의 거리를 추정하는 기법이 제안되었다^[8-11]. 본 논문에서는 계층적 신호처리 구조를 이용하여 표적의 깊이를 추정하기 전에 \hat{d} 와 \hat{v} 를 알 수 있으며, 이를 이용하여 표적의 깊이를 역으로 추정한다. 본 논문에서는 수신 센서가 해저면에 설치되는 것으로 가정하므로 표적 신호의 직접파와 해수면 반사파만을 고려하며, 두 경로의 경로차는 다음 식 (6)으로 모델링될 수 있다. 이 때 R_d 는 표적과 수신기 간의 직접 경로이고 R_s 는 해수면 반사파의 경로, H 는 수신기의 깊이, h 는 추정하고자 하는 표적의 깊이이다.

$$\Delta R = R_s - R_d \cong \frac{2hH}{\sqrt{d^2 + v^2(t-t_0)^2}} \quad (6)$$

수신 신호의 캡스텀 분석으로 획득 가능한 경로 간 시간지연 $\Delta\tau$ 를 이용할 경우 $\Delta R = c\Delta\tau$ 의 관계를 이용하여 직접파와 반사파 사이의 경로차를 구할 수 있다. 경로차를 구하면 식 (6)을 이용해 4차원 탐색을 하여 각 파라미터를 추정할 수 있지만 이는 많은 연산량을 필요로 하며 결과 또한 큰 오차를 가진다. 하지만 계층적 신호처리를 통해 얻은 \hat{d} , \hat{v} , \hat{t}_0 를 이용하면 표적 깊이가 추정치 \hat{h} 는 다음 식 (7)을 이용하여 쉽게 추정할 수 있다. 이 때 $R^*(t)$ 는 수신 신호의 경로차, $\tilde{R}(t)$ 는 신호 모델의 경로차를 나타낸다.

$$[\hat{h}] = \underset{h^*}{\operatorname{argmin}} \int_{t=0}^T [\tilde{R}(t) - R^*(t;h^*)] \quad (7)$$

추정된 표적의 깊이 정보는 단순히 표적의 위치를 나타내기 위해 사용할 뿐만 아니라 현재 탐지된 표적이 수중의 표적인지 수면의 표적인지를 판단하여 수중 표적 탐지 시 오정보를 줄이는 용도로도 사용할 수 있다.

4. 표적의 방위각 추정

DIFAR 센서는 전방향성 하이드로폰, 지향성 하이드로폰, 마그네틱 콤파스의 정보를 이용하여 자북 방향에 대한 수중 표적의 방위각을 결정할 수 있다. DIFAR 센서로부터 방위각을 추정할 수 있는 많은 기법들이 있으며 본 논문에서는 토날들의 지향성 성분들의 비를 이용해 방위각을 추정하는 기법을 이용한다.

III. 실험

1. 모의실험

가. 신호합성

본 논문에서 제안하는 기법의 성능 검증을 위해 DIFAR 센서의 각 신호 출력을 합성한다. 신호의 합성은 주파수영역에서 합성하는 방법^[12]이 구현이 용이하다고 알려져 있으나 신호의 위상성분을 고려하기 위해 시간 영역에서 합성한다. 표적 신호는 그림 3과 같이 광대역 신호와 협대역 신호를 각각 생성한다.

표적 신호의 합성은 백색 가우시안 잡음(White Gaussian Noise)을 표적의 주파수 모델을 나타내는 필터를 통과 시키고 원하는 토날 성분을 첨가하여 합성한다. 필터 모델은 역푸리에 변환 기법^[13]을 이용하여 생

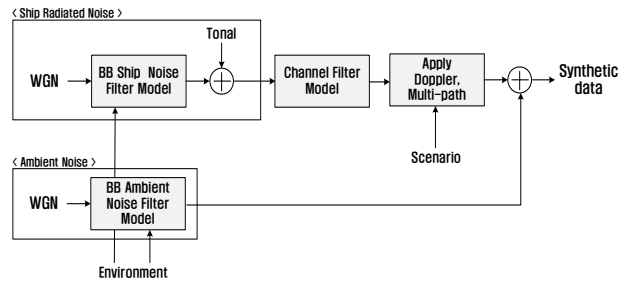


그림 3. 신호합성 순서도
Fig. 3. Flow chart of the signal synthesis.

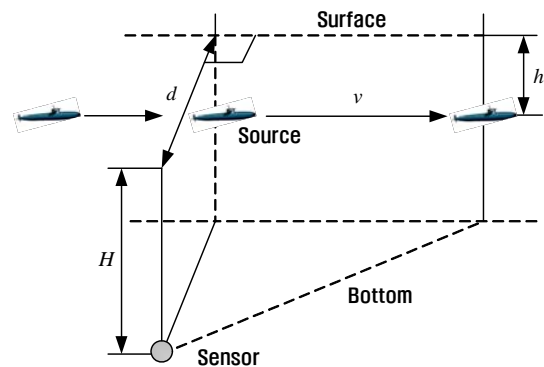


그림 4. 신호합성 시나리오
Fig. 4. Scenario of the signal synthesis.

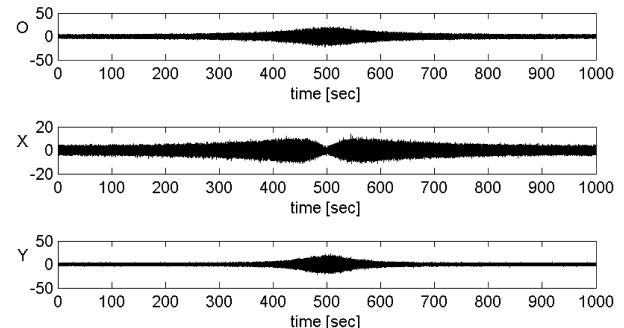


그림 5. DIFAR 센서의 음향센서 출력
Fig. 5. Acoustic sensor output of DIFAR sensor.

성된 신호는 거리에 따른 주파수 감쇠를 고려하여 채널 필터를 통과한다. 이후 도플러와 다중경로를 계산하여 신호를 리샘플링(resampling)하고 시간 지연된 신호를 더해준다. 최종적으로 주변 소음을 고려한 잡음 신호를 더하여 합성 신호를 생성한다. 다음 그림 4는 신호가 합성되는 시나리오를 나타내며 그림 5는 합성한 DIFAR 센서의 음향센서 출력이다. d 는 100, 20yds, v 는 8kts, h 는 22yds, H 는 44yds, SNR은 15dB이고 표적이 방사하는 협대역 신호는 10, 50, 100, 300, 500Hz이다. 그림 5는 위에서부터 DIFAR 센서의 무지향성 센서, 동-서 방향 지향성 센서, 남-북 방향 지향성 센서의

출력을 나타낸다.

나. 모의실험 결과

본 절에서는 제안하는 기법의 성능을 검증하기 위해 총 500회의 몬테카를로(monte calro) 모의실험을 수행하여 선진국의 연구 사례와 비교한다. 그림 6~8은 500회의 모의실험 중 하나의 경우에 대한 신호처리 결과이다. 합성된 신호에 대하여 CPA 탐지를 적용하여 탐지 구간내의 신호만을 획득하게 되면 획득한 신호에 대해 포락선 CPA 기법을 적용한다. 그림 6은 획득한 신호의 에너지 변화와 포락선 CPA를 통해 추정된 \hat{r} 과 \hat{t}_0 를 식 (1)의 에너지모델에 대입하여 얻은 에너지 변화이다.

제안된 계층적 구조에 따라 포락선 CPA를 통해 \hat{r} 과 \hat{t}_0 를 추정한 뒤 주파수 CPA를 수행한다. 그림 7은 주파수 CPA를 통해 획득한 \hat{v} 와 포락선 CPA를 통해 획득한 \hat{r} 과 \hat{t}_0 를 식 (4)에 대입하여 획득한 주파수 변이와

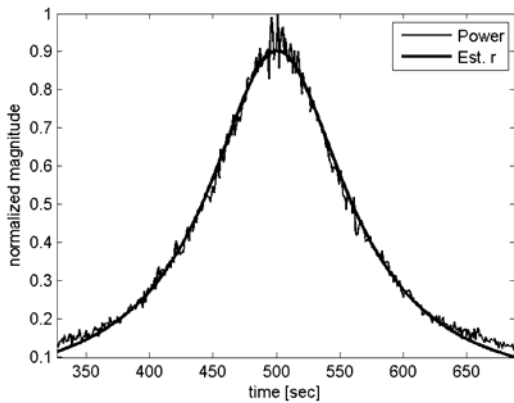


그림 6. 포락선 CPA 결과
Fig. 6. Result of envelope CPA.

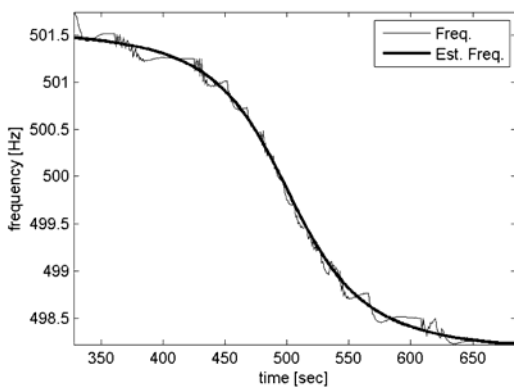


그림 7. 주파수 CPA의 톤 추적 결과
Fig. 7. Result of tonal tracking in frequency CPA.

표 1. 모의실험 결과

Table 1. Result of simulation.

| v [kts] | d [yds] | h [kts] | \hat{v} [kts] | \hat{d} [yds] | \hat{h} [kts] |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 8 | 100 | 22 | 8.33 | 114 | 23 |
| 8 | 200 | 22 | 8.43 | 237 | 23 |

표 2. NUWC 모의실험 결과

Table 2. Result of simulation of NUWC.

| v [kts] | d [yds] | \hat{v} [kts] | \hat{d} [yds] |
|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| 8 | 100 | 10.1 | 125 |
| 8 | 200 | 13.7 | 320 |

실제 주파수 변이를 함께 그린 것이다.

표적의 \hat{v} 와 \hat{d} 를 추정된 뒤 제안한 계층적 신호처리 구조에 따라 표적의 \hat{h} 를 추정한다. 이미 표적의 \hat{v} 와 \hat{d} , \hat{t}_0 의 정보를 가지고 있기 때문에 \hat{h} 는 식 (7)을 이용해 간단한 1차원 탐색 알고리즘으로 구해낼 수 있다. 표 1은 500회 몬테카를로 모의실험의 결과이다.

앞서 서론에서 언급했듯이 국내 뿐 아니라 해외 여러 나라에서도 수중 표적을 탐지하고 표적의 상태를 추정하기 위한 많은 연구를 진행하고 있다. 제안한 기법의 경우 근접센서를 이용하여 표적의 상태를 추정하는 것이며 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 선진국의 연구결과와 비교한다. NUWC(Naval Underwea Warfare Center)의 연구^[2]에서는 표적의 속도와 CPA 거리를 추정하기 위해 식 (1)의 3가지 변수에 대해 3차원 탐색 기법을 적용한다. 하지만 $r = d/v$ 의 관계를 가지기 때문에 표적과 수신기의 거리가 먼 경우에 추정 오차가 커지는 취약점을 가진다. 표 2는 NUWC의 연구에서 표적의 속도를 고정시키고 CPA 거리를 변화시켜 모의실험을 수행한 결과이며 이를 통해 표적의 CPA 거리가 늘어날수록 추정치의 오차가 커짐을 확인할 수 있다.

제안한 계층적 신호처리 구조는 이전 단계에서 추정된 표적 정보를 다음 단계에 이용하여 추정 파라미터의 개수를 줄이므로 NUWC의 연구에 비하여 추정 정확도를 향상시킴을 확인할 수 있다. 이는 제약이 많은 수중 환경에서 적절한 신호처리 구조라 판단된다.

2. 해상실험 데이터를 이용한 검증

본 논문에서 제안하는 기법이 실제 해상환경에서 정상적으로 동작하는지 검증하기 위해 총 2회 해상실험을

수행하여 기법을 적용하였다.

가. 1차 해상실험

2012년 6월 15일 통영에서 진행된 1차 해상실험은 약 22yds의 수심을 가지는 바닥에 DIFAR 센서를 설치하여 지나가는 여객선의 방사 신호를 획득하고 이에 대해 제안한 기법을 적용해 보는 실험이다. 그림 8은 해상실

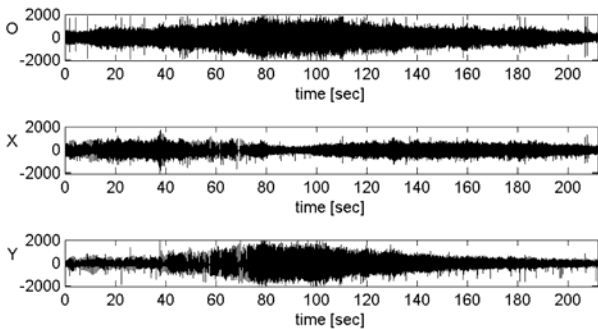


그림 8. DIFAR 센서의 음향센서 출력
Fig. 8. Acoustic sensor output of DIFAR sensor.

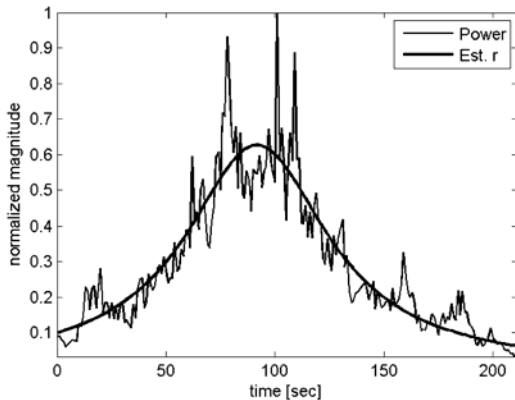


그림 9. 포락선 CPA 결과
Fig. 9. Result of Envelope CPA.

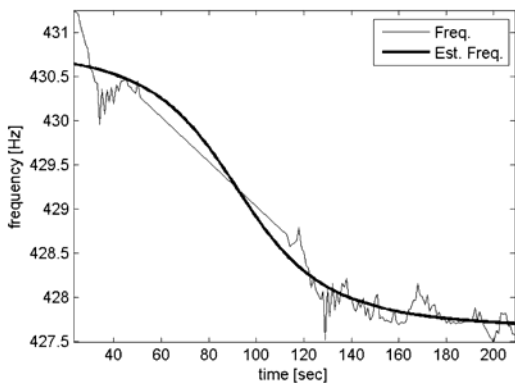


그림 10. 주파수 CPA의 톤 추적 결과
Fig. 10. Result of tonal tracking in frequency CPA.

표 3. 1차 해상실험 결과

Table 3. Result of 1st sea experiment.

| v [kts] | d [yds] | \hat{v} [kts] | \hat{d} [yds] |
|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| 11.6 | 273 | 11 | 247 |

험으로 획득한 DIFAR 센서의 출력이며 그림 9와 그림 10은 획득한 신호에 대해 포락선 CPA와 주파수 CPA 기법을 적용한 결과이다. 각각 그림 6과 그림 7에 해당하는 신호처리를 수행한 결과이며 표 3은 추정된 표적 파라미터의 결과를 나타낸다.

실험결과 제안한 기법이 실제 해상환경에서도 표적의 CPA 거리와 속도를 비교적 정확하게 추정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

나. 2차 해상실험

2차 해상실험은 2014년 6월 20일 약 49yds의 수심을 가지는 남양제도에서 실시하였다. 수신 센서로 무지향성 센서를 수심 33yds지점에 설치하고, 신호원을 25yds의 깊이를 가지게 유지하여 등속 직선 운동 하였다. 표 4는 2차 해상실험을 통해 획득한 데이터에 제안한 기법을 적용한 결과이다.

제안한 기법은 표적을 점원(point source)으로 가정하기 때문에 CPA 거리의 경우 다소 오차를 가짐을 확인할 수 있다.

표 4. 2차 해상실험 결과

Table 4. Result of 2nd sea experiment.

| v [kts] | d [yds] | h [kts] | \hat{v} [kts] | \hat{d} [yds] | \hat{h} [kts] |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2.78 | 22 | 25 | 2.35 | 47 | 17.5 |

IV. 결론

본 논문에서는 근접센서를 이용하여 수중 표적의 정보를 추정하는 수동소나 신호처리 기법을 제안하였으며 제안한 기법의 추정 성능과 실제 해상환경에서의 사용 가능성을 확인하였다. 제안한 기법은 계층적 신호처리 구조를 사용함으로써 이전 단계에서 추정된 표적 정보를 다음 단계에 이용하여 추정 파라미터의 개수를 줄여 추정 정확도를 향상시킬 수 있었으며 이는 제약이 많은 수중환경에서 적절한 신호처리 구조라 판단된다.

REFERENCES

- [1] Joseph A. Rice, Robert K. Creber, Christopher L. Fletcher, Paul A. Baxley, Kenneth E. Rogers, and Donald C. Davison, "Seaweb Underwater acoustic nets," *Biennial Review 2001*, SSC San Diego Tech, Document TD 3117, pp. 234-250, Aug. 2001.
- [2] D. J. Pistacchio, E. Giannopoulos, A. Bruno, and J. Gouveia, "Automatic Detection and Localization with a Single Site Combined Acoustic and Magnetic Proximity Sensor", in *Proc. of UDT Europe 2007*, Naples, Italy, June 5-7, 10C3, 2007.
- [3] T. A. Wettergren, R. L. Streit, J. R. Short, "Tracking with Distributed Sets of Proximity Sensors using Geometric Invariants", *Aerospace and Electronic system*, IEEE Transaction on, vol. 40, no. 4, pp. 1366-1374, Oct. 2004.
- [4] B. P. Flanagan, K. W. Parker, "Robust Distributed Detection using low power acoustic sensors", Technical report, The MITRE Corporation, 2005.
- [5] K. W. Lo and B. G. Ferguson, "Flight Path Estimation Using Frequency Measurements from a Wide Aperture Acoustic Array," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol.37, No.2, pp.685-694, Apr. 2001.
- [6] Y. T. Chan and F. L. Jardine, "Target Localization and Tracking From Doppler-Shift Measurements," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol.15, No.3, pp.251-257, July 1990.
- [7] Y. T. Chan and J. J. Towers, "Sequential Localization of a Radiating Source by Doppler-Shifted Frequency Measurements," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol.28, No.4, pp.1084-1090, Oct. 1992.
- [8] K. W. Lo, S. W. Perry, B.G. Ferguson, "Aircraft Flight Parameter Estimation Using Acoustical Lloyd's Mirror Effect," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol.38, No.1, pp.137-151, Jan. 2002.
- [9] Dai Hongyan, Zou Hongxing, "Aircraft Motion parameter estimation via multipath time delay using a ground based passive acoustic sensor," *Journal of Electronics(CHINA)*, Vol.24, No.3, pp.353-357, May 2007.
- [10] K. W. Lo, B. G. Ferguson, Yujin Gao, A. Maguer, "Aircraft Flight parameter estimation using acoustic multipath delays," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol.39, No.1, pp.259-268, Jan. 2003.
- [11] G. Q. Wu, "Estimation of range and depth of submerged moving object by using noise cepstrum," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.245, No.5, pp.835-843, Aug. 2001.
- [12] Kehil D., Creasey D. J., Smith B. V., "Passive sonar signal simulation using frequency domain techniques.pdf", *Simulation Techniques Applied to Sonar*, IEE Colloquium on, 1988.
- [13] Lai Wei, Sui-Hua Zhou, "Signal Simulation of Ship-radiated Noise in Time Domain Based on the Inverse Fourier Transform", *Challenges in Environmental Science and Computer Engineering(CESCE)*, 2010 International Conference on, vol. 1, pp. 341-344, Mar. 2010.

저 자 소 개



김 정 훈(학생회원)

2010년 경북대학교 전자전자전기
컴퓨터학부 학사 졸업.

2012년 경북대학교 전자전자전기
컴퓨터학부 석사 졸업.

2012년~현재 경북대학교
전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 수중음향 신호처리, 배열신호처리,
표적 위치 추정>

윤 경 식(정회원)

대한전자공학회 논문지
제 51권 제 10호 참조

서 의 수(정회원)

대한전자공학회 논문지
제 51권 제 2호 참조

이 균 경(정회원) - 교신저자

대한전자공학회 논문지
제 32권 B편 제 14호 참조