

# 표적 식별 정보 피드백을 통한 관심 음향 표적 추적 기법

## Acoustic Target of Interest Tracking Algorithm Using Classification Feedback

최기석<sup>†</sup>

(Kiseok Choi<sup>†</sup>)

국방과학연구소 소나체계개발단

(접수일자: 2014년 3월 11일; 수정일자: 2014년 5월 7일; 채택일자: 2014년 5월 15일)

**초 록:** 본 논문은 해양에서 발생하는 음향 표적에 대해서 표적의 식별 정보 피드백을 통해 관심 표적 추적 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 기존의 다중주파수 표적 추적 기법은 탐지된 음향신호 특성만 활용하여 추적을 수행하는 반면, 본 논문에서 제안하는 기법은 탐지된 음향신호 특성과 더불어 관심 표적의 특징인자가 식별되는지 여부를 추적에 활용한다. 제안하는 기법은 특징인자가 식별되는 측정치에 대해서만 추적을 수행하여 관심 표적이 아닌 표적에 대한 불필요한 추적을 방지한다. 또한 특징인자가 식별된 표적을 추적할 때 동적으로 추적 파라미터를 최적화하여 관심 표적에 대해 지속적이고 안정적인 추적을 수행한다. 모의 신호를 이용하여 실험을 수행하였으며 미약한 신호가 나타나는 수중 표적에 대해 제안하는 기법을 적용한 결과, 불필요한 표적 개수가 감소하고 관심 표적의 추적이 지속적으로 안정되게 수행됨을 확인하였다.

**핵심용어:** 음향 표적, 피드백, 추적, 식별, 하모닉

**ABSTRACT:** This paper suggests an algorithm to improve the tracking performance for an underwater acoustic target using the feedback information of acoustic feature of a target. While conventional tracking algorithms use detected acoustic signals only, the proposed algorithm uses detected acoustic signals and target feature information as well. Since the proposed algorithm tracks only the selected measurements using target feature information, it prevents onset of unnecessary tracks and improves tracking performance for target of interest. Furthermore, it optimizes tracking parameters for the target of interest and guarantees robustness and consistency of the track. Some simulations are performed to demonstrate the improved tracking performance of the proposed algorithm.

**Keywords:** Acoustic target, Feedback, Tracking, Classification, Harmonic

**PACS numbers:** 43.30.Wi

### 1. 서 론

최근 해양 선박량 증가와 더불어 해양 표적들의 고속화로 충돌 위협이 증가됨에 따라 고속 기동 표적 등의 접근을 사전에 탐지 및 추적하여 신속히 대응 전략을 수행해야 할 필요성이 증대하고 있다. 수상 및 수중 표적을 동시에 탐지하려면 음파를 활용해야 한다. 음파는 수 km까지 전달되고 DSC(Deep Sound

Channel)와 같은 덕트를 통과하는 경우 수십, 수백 km 이상까지도 전달되기 때문에 해양 표적을 탐지하기 위해서는 음파를 활용하는 것이 유리하다.<sup>[1]</sup> 해양 표적은 추진 프로펠러, 엔진, 내부 기계장비 등을 통해 자체적으로 소음을 발생시킨다. 특히, 소형 고속 표적은 일반적인 대형 및 저속 표적과 다르게 독특한 소음을 발생시키는 경우가 많다. 싱잉 소음(명음)이라고 불리는 이 소음은 추진 프로펠러와 유체 흐름 사이의 공진에 의해 나타나는 소음으로서,<sup>[2]</sup> 자연에서 나타나는 다양한 소음과는 구별되는 하모닉 패턴의 주파수 특징을 보이기 때문에 소형 고속 표

<sup>†</sup>Corresponding author: Kiseok Choi (kschoi@add.re.kr)  
Sonar Systems PMO, Agency for Defense Development, P.O. Box  
18 Jinhae, Changwon 645-600, Republic of Korea  
(Tel: 82-55-540-6525, Fax: 82-55-542-3737)

적의 식별 정보로써 사용된다. 이러한 식별 소음이 나타나는 표적은 관심 표적으로 할당되어 지속적인 추적 대상이 된다.

하지만 수중 환경의 특성상 다양한 소음원의 간섭으로 인해 관심 없는 표적에 대한 추적이 수행될 가능성이 많고, 관심 표적을 추적하더라도 수심에 따른 음속 구조 변화, 조류의 영향 등에 의해 관심 표적의 신호가 미약하게 나타나는 경우가 많아 지속적인 추적을 수행하는 데 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문은 식별 정보 피드백을 통한 추적 기법을 제안한다.

제안하는 기법은 식별 정보가 확인되는 방위 및 주파수 측정치에 대해서만 추적을 수행하기 때문에 불필요한 추적 수행을 줄인다. 또한 추적 수행 중에 식별 정보를 실시간 피드백하여 추적 파라미터를 최적화하여 관심 표적에 대한 지속적인 추적을 가능하게 한다.

본 논문의 2장에서는 기존의 수중 표적 추적 기법에 대해 기술하고, 3장에서는 식별 정보를 피드백하여 추적에 사용하는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 모의신호를 이용하여 제안한 알고리즘을 검증하고 5장에서는 결론을 기술한다.

## II. 기존 다중주파수 표적 추적 기법

수중 소나 협대역 다중주파수 표적 추적에 사용하는 일반적인 표적 추적 알고리즘은 Fig. 1과 같이 구성된다.<sup>[3]</sup> 기존 추적 알고리즘에서 Thresholding은 주파수 스펙트럼에서 추출한 첨두치(peak)들 중 문턱값보다 큰 것들을 탐지하여 측정치들을 선정한다. SCF(Supervised Clustering + Filtering)은 기존의 트랙에 연계될 측정치들과 새로운 트랙에 사용될 측정치

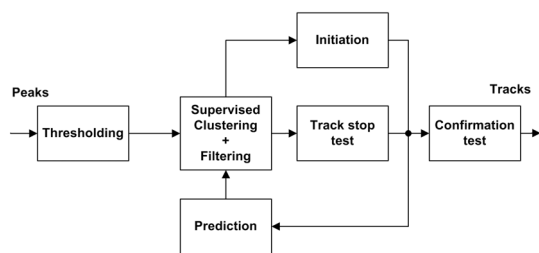


Fig. 1. Conventional multiple frequency line tracking algorithm.

들을 분류한다. Initiation에서는 새로운 트랙을 생성하고, Track stop test에서는 기존에 관리되던 트랙들의 트랙 품질(quality)를 판단하여 삭제할 표적을 찾아낸다. Prediction에서는 트랙의 상태 벡터를 갱신한다. Confirmation test에서는 시스템 변수와 운용자의 제어 입력을 받아 최종 트랙을 확정한다. 이러한 구조는 여러 가지 추적 필터 적용 가능성과 간단한 구조로 인해 보편적으로 사용되고 있으나 다양한 소음원이 존재하는 해양환경에서 적용 시 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

1. 관심 표적뿐만 아니라 존재하는 소음원에 모든 추적을 수행하므로 과도한 처리 자원이 필요하고 운용성이 저하된다.
2. 여러 가지 소음원에 의한 신호 간섭 및 미약한 신호로 인해 관심 표적의 추적 지속성이 떨어지고, 인접된 추적 표적의 간섭에 의해 잘못된 추적결과를 야기할 수 있다.

상기 문제점을 해결하기 위해 식별 기반의 탐지 개념이 등장했고, 이에 대해서 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 주파수 형태, 크기 등의 특징인자를 추출하여 expert database에 저장한 후 이를 지속적으로 갱신하며 expert database의 정보를 기반으로 측정치를 추출하는 기법,<sup>[4]</sup> 측정치를 추출할 때 HMM(Hidden Markov Model)을 이용하여 알려진 주파수 패턴과 일치하는 여부를 확인하는 기법<sup>[5]</sup> 등의 연구가 진행되었지만 이는 측정치 추출에 한정된 기법이기 때문에 추적이 초기화된 표적에 대해서는 추적 성능 향상이 이루어질 수 없다. 예를 들어, 관심 표적의 신호 크기가 미약한 경우에 대해 추적 지속성에 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 기법은 추적이 시작된 이후에도 지속적으로 식별 정보를 피드백하여 식별이 되는 구간에 대해 추적 파라미터를 최적화하는 기법을 적용하여 관심 표적의 추적을 좀 더 안정적으로 수행할 수 있게 하였다.

## III. 식별 정보 피드백 표적 추적 기법

다양한 소음 환경에서 고속 기동 표적을 추적할

때 발생하는 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 식별 정보 피드백을 통한 표적 추적 기법을 적용하였다. 제안하는 알고리즘은 Fig. 2와 같다.

CMF(Classification + Measurement Filtering)은 다중 주파수 측정치 간의 차주파수가 하모닉 패턴으로 탐지되는지 여부를 확률 기반으로 판단한 후,<sup>[6]</sup> 하모닉 패턴이 탐지되는 측정치를 선택하여 추적을 초기화한다. 관심 표적으로 확인될 가능성이 높은 측정치에 대해서만 추적을 수행함으로써 불필요한 추적을 피할 수 있다. Classification은 기 추적 중인 주파수 트랙 간의 차주파수가 하모닉 패턴으로 탐지되는지 여부를 판단하여 하모닉 패턴이 탐지되는 트랙의 추적 파라미터를 최적화한다. 지속적으로 식별 정보가 나타나는 표적에 대해 추적 파라미터를 최적화하기 때문에 관심 표적의 추적을 안정적으로 수행되도록 한다.

본 논문에서는 주파수선 추적을 위해 이산 선형 칼만필터를 이용하였다.<sup>[7]</sup> Eq.(1)은 상태 벡터(state vector)와 측정치 벡터(measurement vector)로서  $\theta_k, \dot{\theta}_k, f_k, \dot{f}_k, \theta_m(k), f_m(k)$ 는 각각 방위, 방위변화율, 주파수, 주파수 변화율, 방위 측정치, 주파수 측정치를 나타낸다.

$$\mathbf{x}_k = \begin{pmatrix} \theta_k \\ \dot{\theta}_k \\ f_k \\ \dot{f}_k \end{pmatrix}, \mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} \theta_m(k) \\ f_m(k) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Eq.(2)는 상태 방정식(state equation)과 측정치 방정식(measurement equation)이고, Eq.(3)은 상태천이 행렬(state transition matrix), Eq.(4)는 측정 행렬(measurement matrix)이다.

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{v}_k; \mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k, \quad (2)$$

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, T = \text{time interval}, \quad (3)$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

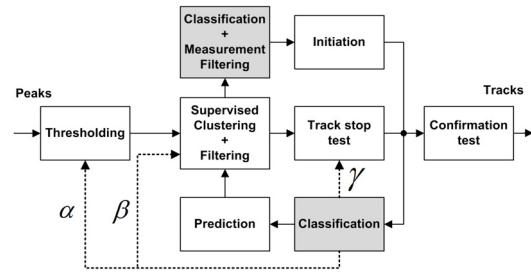


Fig. 2. Proposed classification feedback tracking algorithm.

Eq.(2)의  $\mathbf{v}_k$ 는 공정잡음이고,  $\mathbf{w}_k$ 는 측정잡음으로서, Eq.(5)와 같이 각각 정규분포를 가정하였다.

$$\mathbf{v}_k \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{Q}), \mathbf{w}_k \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R}). \quad (5)$$

Eq.(6)은 공정잡음의 공분산 행렬로서,  $q_\theta$ 는 방위 공정잡음의 분산이고,  $q_f$ 는 주파수 공정잡음의 분산이다. Eq.(7)은 측정잡음의 공분산 행렬로서,  $\text{var}(\tilde{\theta})$ 은 방위 측정잡음에 대한 분산,  $\text{var}(\tilde{f})$ 는 주파수 측정잡음에 대한 분산이다. Eq.(8)은 상태 벡터에 대한 오차 공분산 행렬로서,  $P_{\theta\theta}$ 는 방위에 대한 분산,  $P_{\dot{\theta}\dot{\theta}}$ 은 방위 및 방위변화율에 대한 공분산,  $P_{\theta\dot{\theta}}$ 는 방위 변화율에 대한 분산,  $P_{ff}$ 는 주파수에 대한 분산,  $P_{f\dot{f}}$ 는 주파수 및 주파수변화율에 대한 공분산,  $P_{\dot{f}\dot{f}}$ 는 주파수변화율에 대한 분산이다.

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} T^3 q_\theta & \frac{1}{2} T^2 q_\theta & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} T^2 q_\theta & T q_\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{3} T^3 q_f & \frac{1}{2} T^2 q_f \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} T^2 q_f & T q_f \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \text{var}(\tilde{\theta}) & 0 \\ 0 & \text{var}(\tilde{f}) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} P_{\theta\theta} & P_{\theta\dot{\theta}} & 0 & 0 \\ P_{\theta\dot{\theta}} & P_{\dot{\theta}\dot{\theta}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{ff} & P_{f\dot{f}} \\ 0 & 0 & P_{f\dot{f}} & P_{\dot{f}\dot{f}} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

주파수선 추적 중 지속적으로 식별 정보가 나타나는 표적의 추적에 대해서는 추적 파라미터를 동적으로 최적화하여 표적의 추적이 안정적으로 이루어지도록 한다. 추적 파라미터를 최적화하는 방법은 3가지이다.

1. 측정치 추출 문턱값( $m_{DT}$ )을 조절함으로써 관심 표적의 신호가 미약하게 나타나더라도 추적을 위한 측정치가 지속적으로 입력되도록 한다. 이 과정에서 불필요한 측정치가 추출되는 현상을 막기 위해 측정치 연계 게이트 내부에서 측정치가 추출되지 않는 경우에만 문턱값을 조절한다.  $i$ 는 측정치 번호,  $z_i$ 는 측정치,  $f^i$ 는 주파수,  $\theta^i$ 는 방위,  $m^i$ 는 주파수 성분 크기(magnitude),  $\alpha$ 는 측정치 추출 문턱값 조절 비율이다.  $\alpha$ 는 신호가 미약하여 측정치 크기 변화폭이 크게 나타나는 경우에 대해서도 측정치 추출이 가능하도록 Eq.(9)에 의해 경험적으로 결정한다.  $\sigma_{s|normal}$ 은 추적 초기화 때 적용되는 측정치 크기 변화폭이고,  $\sigma_{s|max}$ 는 추적이 유지될 수 있는 최대한의 측정치 크기 변화폭이다.

$$z_i = [\theta^i, f^i, m^i], m^i > \alpha m_{DT},$$

$$0 < \alpha \leq 1, \alpha \propto \frac{\sigma_{s|normal}}{\sigma_{s|max}}. \quad (9)$$

2. 측정치 연계 게이트를 조절함으로써 신호 간섭에 의해 측정치의 변동폭이 커지더라도 연계를 하여 지속적인 추적이 가능하도록 한다.  $\theta_{gate}$ 는 방위 연계 게이트,  $f_{gate}$ 는 주파수 연계 게이트,  $\beta_1$ 은 방위 연계 게이트 조절 비율이고,  $\beta_2$ 는 주파수 연계 게이트 조절 비율이다.  $\beta_1, \beta_2$ 는 소형 고속 표적이 일반 수동소나 표적에 비해 변침 및 기동 폭이 크기 때문에 방위변화율이 크게 나타나고, 도플러 효과에 의한 주파수 변화율이 크게 나타나는 현상을 반영하여 결정한다.  $\dot{\theta}_{max}, \dot{f}_{max}$ 는 관심 표적의 최대 방위 변화율 및 최대 주파수 변화율이고,  $\dot{\theta}_{normal}, \dot{f}_{normal}$ 은 일반 수동소나 표적의 최대 방위 변화율 및 최대 주파수 변화율이다.

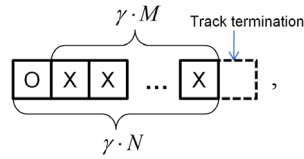
$$|\theta_k - \theta_m(k)| < \beta_1 \theta_{gate},$$

$$|f_k - f_m(k)| < \beta_2 f_{gate},$$

$$\beta_1 \geq 1, \beta_2 \geq 1,$$

$$\beta_1 \propto \frac{\dot{\theta}_{max}}{\dot{\theta}_{normal}}, \beta_2 \propto \frac{\dot{f}_{max}}{\dot{f}_{normal}}. \quad (10)$$

3. 추적 종료 조건을 조절함으로써 관심 표적의 신호가 미약하여 측정치 연계가 널뛰더라도 최대한 추적이 지속되도록 한다. 신호 크기 변화폭에 의한 측정치 연계/미연계 반복 현상은  $\alpha$ 와  $\beta$  값 최적화만으로도 조절 가능하나 시간 누적을 통한 추적 신뢰도 향상을 위해, M-out-of-N 추적 quality 관리 기법<sup>[8]</sup>에서 M과 N scoring을 증가시킨다.  $\gamma$ 는 M과 N scoring을 조절하는 비율로서, Eq.(11)과 같다.  $\gamma_{max}$ 는 추적 갱신 시간과 시스템 모델링을 고려하여 경험적으로 결정한다.



$$1 \leq \gamma \leq \gamma_{max}, \gamma_{max} \propto \frac{\sigma_{s|max}}{\sigma_{s|normal}}. \quad (11)$$

#### IV. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위해 모의 신호를 이용해 실험을 수행하였다. 추적 성능을 비교하기 위해 신호 대 잡음비(SNR)를 아래와 같이 정의하였다.<sup>[9]</sup>

$$SNR(dB) := 20 \log \frac{\sigma_S}{\sigma_N}, \quad (12)$$

여기서  $\sigma_S$ 는 신호 주파수 성분 크기의 표준편차이고,  $\sigma_N$ 는 소음 주파수 성분 크기의 표준편차이다. 주파수 성분 크기는 평균 10인 가우시안 분포로 설정하였으며,  $\sigma_S=1$ 로 고정하였다. 소음 주파수 성분 크기는 평균 0, 표준편차는 SNR에 따라 변경된  $\sigma_N$ 을

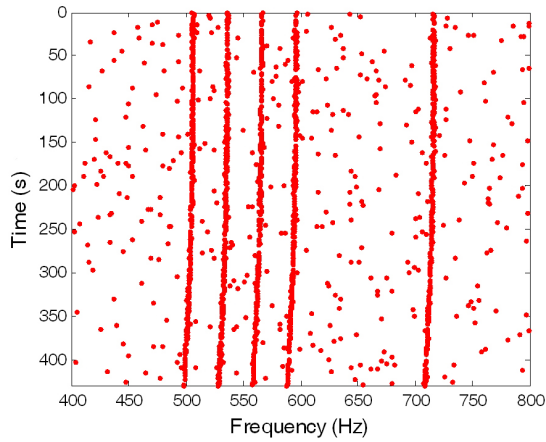


Fig. 3. Measurement distribution.

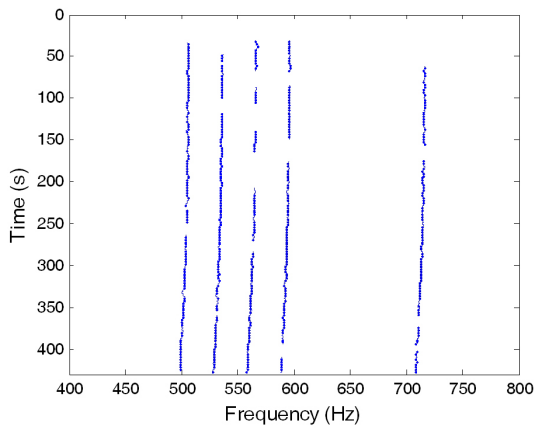


Fig. 4. Tracks from conventional algorithm.

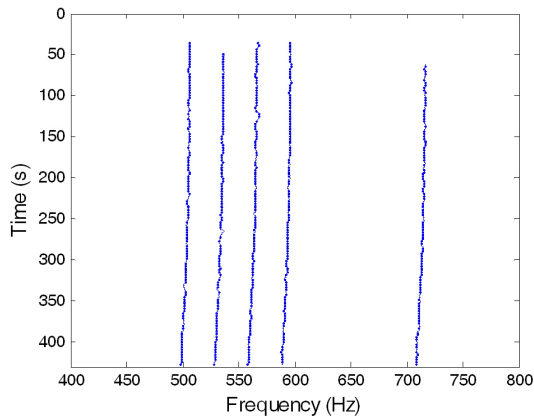


Fig. 5. Tracks from proposed algorithm.

사용하였다. 주파수 측정 오차는 평균이 0, 분산이 0.25인 가우시안 분포로 설정하였다. 주파수선은 500 Hz부터 30 Hz 간격으로 하모닉 패턴이 나타나도록 설정하였다. 클러터의 확률적 발생 빈도는 SNR

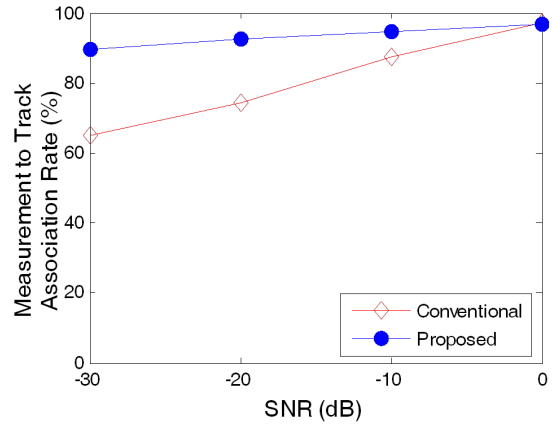


Fig. 6. Measurement to Track association rate (%).

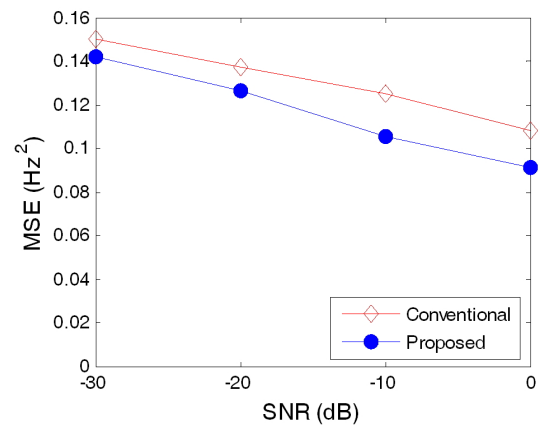


Fig. 7. Track frequency error (MSE).

이 -20 dB인 경우,  $P_D$ (탐지 확률) 75%,  $P_{fa}$ (오탐지 확률) 0.1%로 설정하였으며, 이에 따라 Fig. 3과 같이 측정치를 생성하였다.

Figs. 4와 5는 기존의 추적 알고리즘과 식별 피드백 추적 알고리즘을 적용한 결과이다. 식별정보 피드백의 파라미터인  $\alpha$ 는 0.8,  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 는 1.5,  $\gamma$ 는 2.7을 사용하였다. 식별 피드백 추적 알고리즘을 적용한 경우 지속적이고 안정적으로 추적이 수행됨을 알 수 있다.

표적추적 성능이 향상되었음을 정량적으로 검증하기 위해 SNR에 따라 기존 표적 추적과 식별 정보 피드백 표적 추적 사이에 측정치-트랙 연계율, 추적 오차를 비교하였다. 통계적인 비교를 위해 각 SNR별로 100회의 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 6은 측정치-트랙 연계율 비교 결과로서 신호 대 잡음비에 대해 분석한 결과, 기존 기법보다 제안

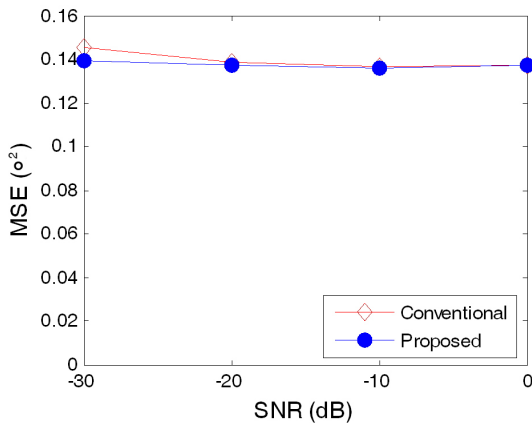


Fig. 8. Track bearing error (MSE).

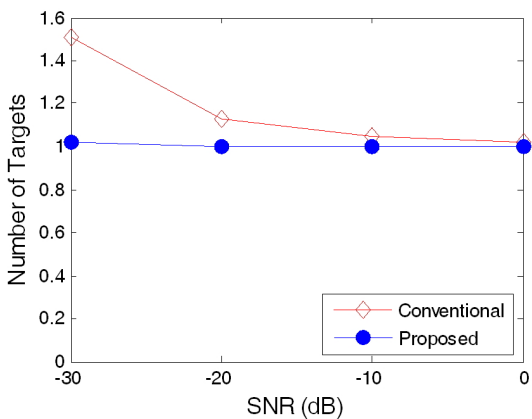


Fig. 9. Number of targets.

하는 기법의 측정치-트랙 연계 성공률이 높은 것을 알 수 있다. Fig. 7은 추적의 주파수 오차를 비교한 그래프이다. 실제 주파수와 트랙 주파수의 차이를 제공한 값을 때 프레임별로 더한 후 평균을 내서 MSE (Mean Square Error) 값을 산출하였다. 식별 정보 피드백 표적 추적의 경우 기존 표적 추적과 비교했을 때 정확도가 대부분 유사하고 조금 우세한 것을 확인할 수 있다. 이는 측정치가 존재하였다 존재하지 않았다 하는 순간에 기존 알고리즘은 주파수 추적의 단절이 일어났기 때문이다. Fig. 8은 추적의 방위 오차를 나타낸 것이다. 방위 오차 또한 주파수 오차와 마찬가지로 MSE 값을 산출하였다. 다중주파수 추적의 특성상 주파수 성분들의 방위를 융합하여 방위 추적을 수행하는데<sup>[3]</sup> 식별 정보 피드백 추적의 경우 주파수 성분이 단절되는 경우가 적어 방위 추적 오차도 미세하게 개선되었다.

Fig. 9는 추적 개수를 비교한 그래프이다. SNR이 낮아 관심 표적이 다른 소음원과 구분이 용이하지 않는 경우에도 식별 정보 피드백 표적 추적 기법은 기존 추적 기법보다 허위 주파수 표적을 추적하지 않은 것을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 수중 환경의 특성상 다양한 소음원 간섭과 해양 환경 변화로 인해 수중 표적의 신호가 미약한 경우에도 안정적인 표적 추적을 수행하기 위해 표적의 식별정보를 추적에 피드백하여 추적 변수를 최적화하는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 순차적인 구조의 추적 알고리즘에 비해 관심 표적의 추적이 지속적이고 안정되게 수행되었고, 관심 없는 표적 신호에 대한 추적을 방지하여 불필요한 추적이 수행되지 않았다.

제안된 알고리즘은 소음원이 많은 해양 환경에서 관심 표적만을 지속적으로 추적하기 위해 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 향후 해상 표적의 싱잉 소음 특성 뿐 아니라 다양한 식별 정보에 대해 피드백하여 추적 성능을 향상시키는 연구를 수행할 계획이다.

## References

1. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound* (McGraw-Hill, New York, 1983), pp. 159-168.
2. D. Ross, *Mechanics of Underwater Noise* (Peninsula Publishing, Los Altos, 1987), pp. 316-317.
3. D. V. Cappel, "An automatic simultaneous data fusion and tracking system for passive narrowband Sonar," Proc. UDT Conference, 328-332 (1996).
4. M. Lu, M. Li, and W. Mao, "The detection and tracking of weak frequency line based on double-detection algorithm," IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies For Wireless Communications, 1195-1198 (2007).
5. D. V. Cappel and P. Alinat, "Frequency line extractor using multiple hidden markov models," OCEANS '98 Conference Proceedings 3, 1481-1485 (1998).
6. S. J. Shin, I. S. Seo, and I. I. Kim, *Design Report of Passive Target Classification in Ulsan-I Class Sonar System* (in Korean, ADD, Daejeon, 2009), pp. 6-19.
7. R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and

- prediction problems,” J. Basic. Eng. **82**, 35-45 (1960).
8. S. S. Blackman, *Multiple-Target Tracking with Radar Applications* (Artech House, Dedham, 1986), pp. 171-173.
  9. F. B. Shin and D. H. Kil, “Full-spectrum signal processing using a classify-before-detect paradigm,” OCEANS ‘95 MTS/IEEE Challenges of Our Changing Global Environment Conference Proceedings **1**, 397-403 (1995).

## 저자 약력

### ▶ 최 기 석(Kiseok Choi)



2006년: 서울대학교 컴퓨터공학부 학사  
 2008년: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사  
 2008년 ~ 2011년: SK이노베이션 연구원  
 2011년 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원