

# 수동소나에 적합한 자동탐지 및 추적기법 개발

서익수, 양인식, 오원천  
국방과학연구소

## Automatic target detection and tracking for a passive sonar system.

Ik-Su Seo, In-Sic Yang, Wontchon Oh  
Agency for Defense Development  
macleans@korea.com, insic@bcline.com, wontchon@chollian.net

### 요약

잠수함 정숙화 추세와 복잡한 해양 환경으로 대잠수 함진에서 미약한 표적신호를 지속적으로 탐지하기가 매우 어려워지고 있어 소나 운용자가 장시간 지속적으로 전방위 표적 탐색하는 부담이 매우 크므로 표적 자동탐지 추적 기능이 필수적이다. 본 논문에서는 장거리 예인수동소나에 적합한 표적의 자동 탐지 및 추적기법을 제안하고 시뮬레이션과 실제 해상 환경에서 수중 표적신호로 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

예인 수동소나는 유향센서를 예인하여 장거리에서 수중표적을 탐지하고 스펙트럼 분석으로 식별하여 표적의 정보를 수집하는 장비이다. 한국해역은 어선 및 상선들의 해상 교통량이 매우 많아 수중 소음이 극히 높은 탐지환경이므로 수동형 예인소나로 광범위한 탐색환경 내에 분포하는 수 많은 선박 소음 중에서 극도로 정숙한 수중 위협 표적의 주파수 신호를 지속적으로 탐지하는 것은 매우 어려운 일이다. 국내의 예인형 수동 소나는 기존의 추적 알고리즘을 기반으로 운용자에 의한 수동 추적에 대부분 의존하고 있는 현실이다[1,2,3,4] 이러한 문제점을 개선하기 위하여 국내에서 자동탐지 추적기법이 연구되었으며[5] 개발된 기법이 실제 소나 장비에 적용하기 위한 연구가 수행되었다[6] 이러한 결실로, 본 논문에서는 운용자의 부담을 줄이고 전방위에 대한 데이터를 자동 탐색하고 표적의 자동 생성 및 생산, 자동 종료에 이르기까지 전 과정을 자동화하는 기법을 개발하여 실제 상황에서 검증된 결과를 제시한다. 2장에서는

탐지 및 추적의 전체적인 구조를 설계하고 갱신하는 과정을 기술하였고 3장에서는 표적의 특징정보를 저장하고 이를 이용하여 추적 성능을 향상하는 기법을 소개하였다. 4장은 제안한 기법을 이용하여 수년간 획득한 해상 데이터에 적용하여 시험한 결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 자동탐지 및 추적 알고리즘

#### 2.1 탐지 및 추적 구조

센서 측정신호로부터 측정치 검출, 단일 주파수 표적 생성 및 근접 표적 융합, 특징정보 처리 및 자동 종료하는 전체적인 알고리즘 구조는 그림 1과 같다. 우선 센서로부터 측정된 신호에서 표적의 방위각, 고유주파수, 산호 대 잡음비를 자동으로 검출한다. 자동 검출된 초기 측정치를 이용하여 표적의 단일 주파수선을 추적한다.

수중 표적은 최소한 하나 이상의 특징 주파수 정보를 가지고 있으며 항해 조건에 따라 발생하는 주파수가 다르다. 따라서 단일 주파수선을 추적하면서 동시에 동일 표적임을 계산하여 하나의 표적으로 판단 시 다중 주파수선으로 융합하여 추적한다. 표적의 주파수별 특징정보들을 매 프레임마다 추출하여 표적의 특징정보로 지속적으로 구축하고 표적이 소실 및 재 탐지 되는 경우 저장된 특징정보를 이용하여 동일표적임을 판단하여 지속적으로 표적의 방위를 추적한다. 초기 측정치를 검출하고 기존에 추적중인 표적과의 거리를 비교하여 기존 표적에 연계된 측정치인지 새로운 표적의 측정치인지 판단한다. 거리 판단 후 새로운 표적으로 인정되면 새로운 표적 생성 과정을 거치며 기존 표적의 측정치로 판단되

면 기존 표적 연계 과정을 거쳐서 추적정보를 갱신한다. 갱신된 추적 정보로부터 매 프레임마다 표적의 특징정보 데이터 베이스를 구축하고 특징정보를 이용하여 표적의 추적 성능을 향상한다.

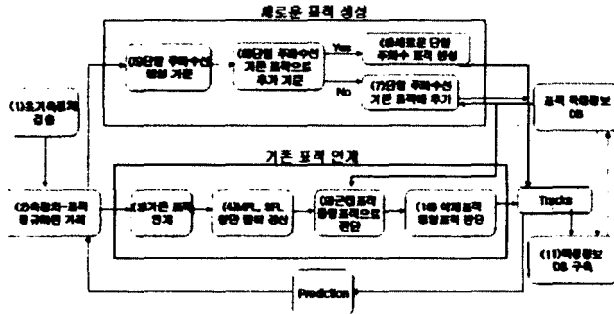


그림 1. 자동탐지 및 추적 알고리즘 구조

## 2.2 초기 측정치 추출

표적으로부터 발생한 음향신호에는 표적의 방위각, 고유 주파수, 신호대 잡음비 등 다양한 정보가 포함되어 있다. 신호처리된 방위별 빔 에너지 정보를 적절한 문턱값과 비교하여 표적의 고유주파수를 탐지한다. 수동 소나 시스템에서는 다양한 해양환경과 다중 표적의 존재로 인하여 적용적인 문턱값을 구하기 위하여 보편적으로 사용되는 CA-CFAR(Cell Averaging - Constant False Alarm Ratio)기법을 토대로 다중표적상황에 적합한 문턱값을 추출하였다. 빔형성된 출력을 이용하여 방위각을 추정할 때 지향빔 사이의 방위각에 표적이 존재하는 경우 보간기법을 이용하여 표적의 방위각을 추정하고 초기 측정치의 방위정보로 이용하였다. 사용된 보간기법은 고차의 다항식으로 보간하면 빔패턴의 좁디 정확한 근사값을 구할 수 있으나 실제 표적으로부터 멀리 떨어진 조항빔에 대해서는 부엽준위를 이용함으로써 추정 성능이 저하될 수 있으므로 3개의 조항빔을 이용한 2차 다항식으로 보간하였다.

## 2.3 오경보 판별

시간  $k$ 에서 여러 개의 표적을 추적 중이고 새로운 초기측정치들이 들어오면 추적중인 기존 표적과의 연관성을 조사하기 위하여 정규화된 거리를 기준으로 판단한다.

$$d_{ijk} > \eta_1, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (1)$$

$\eta_1$ 은 문턱값이며 기존 표적과의 연계여부를 판단하는 기준이 되며  $d_{ijk}$ 는  $i$ 번째 표적의  $j$ 번째 주파수선과  $k$ 번째 측정치와의 거리로서 다음 식과 같이 표현 가능하다.

$$d_{ijk} = \frac{(x_{m_k} - x_{P_i})^2}{\sigma_{X_{m_k}}^2 + \sigma_{X_{P_i}}^2} + \ln(\sigma_{X_{m_k}}^2 + \sigma_{X_{P_i}}^2) + \frac{(y_{m_k} - y_{P_i})^2}{\sigma_{Y_{m_k}}^2 + \sigma_{Y_{P_i}}^2} + \ln(\sigma_{Y_{m_k}}^2 + \sigma_{Y_{P_i}}^2) \quad (2)$$

$\sigma_{X_{P_i}}$ 와  $\sigma_{X_{m_k}}$ 는 필터 예측치의 방위각과 주파수에 대한 표준편차이고  $\sigma_{X_{m_k}}$ 와  $\sigma_{Y_{m_k}}$ 는 측정치의 방위각과 주파수에 대한 표준편차로서 다음의 수식으로부터 구한다.

$$\sigma_{X_i} = \theta_3 \frac{\sqrt{1 + \frac{l_k}{N_{FFT}}}}{l_k}, \sigma_{Y_i} = \Delta_{FFT} \frac{\sqrt{1 + \frac{l_k}{N_{FFT}}}}{l_k} \quad (3)$$

$\theta_3$ 는 방위각 해상도이며  $\Delta_{FFT}$ 는 주파수 해상도,  $N_{FFT}$ 는 FFT한 데이터의 STI의 개수이다.

만일 연속된 3 프레임동안의 다음의 조건을 만족하는 측정치들은 새로운 단일 주파수선 표적으로 생성한다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{i,j} |x_k(t_i) - x_k(t_j)| &< 3\theta_3 \\ \text{Max}_{i,j} |y_k(t_i) - y_k(t_j)| &< 7\Delta_{FFT} \end{aligned} \quad (4)$$

$i, j = 1, 2, 3, t_i \neq t_j$  이다.

단일 주파수선과 기존 추적중인 표적과의 방위각상 연관성을 판단하기 위한 판별 기준은 다음과 같다.

$$\min_i \left[ \frac{(x_m - x_P)^2}{\sigma_{X_m}^2 + \sigma_{X_P}^2} \right] + \ln(\sigma_{X_m}^2 + \sigma_{X_P}^2) < \eta_2 \quad (5)$$

여기서  $i = 1, 2, \dots, M$  이다.

## 2.4 표적 갱신 및 그림화

표적은 방위와 주파수에 선형 칼만 필터를 사용하여 표적의 갱신에 사용하였다. 검출된 측정치들 중에서 기존 표적과의 연관성이 있는 측정치는 기존 표적의 추적을 갱신하는 데 사용한다. 실제 예인형 수동 소나를 운

용하는 해상 환경에서 적절한 탐지 문턱값이 설정된 경우 초기추정치의 신뢰도를 바탕으로 계산이 단순하고 확률모델에 의존도가 낮은 NNA기법을 이용하여 필터를 갱신하는 데 사용하였다.

수중 표적은 항해 상황에 따라 발생하는 주파수 소음원이 다르다. 따라서 표적의 특징 주파수는 생성과 소멸을 반복하는 데 이러한 경우 단일 주파수선 표적들은 다른 표적으로 추적을 수행할 가능성이 있다. 이러한 표적들을 동일한 표적으로 융합하기 위해서 그룹화 과정이 필요하다. 두 개 이상의 방위각 궤적이 생성된 후 계속하여 인접하여 존재한다면 이들은 동일 표적에서 발생했을 가능성이 높다. 만약 동일 표적으로부터 발생한 여러 개의 방위각 궤적이 분산되어 추적되면 추적 성능의 시하 및 소나 운용자에게 부담을 주게 된다. 따라서 표적의 생성시부터 지속적으로 표적의 인접 여부 판단하여 일정시간 이상 근접하여 추적중인 표적들은 하나의 표적으로 묶어준다. 그러나 방위각 인접도만으로 그룹화하는 경우 실제 두 개의 다른 표적이 하나의 표적으로 간주될 수 있기 때문에 표적들의 특징정보를 이용하여 해결 할 수 있다.

### 2.5 표적 추적 삭제

표적 추적중인 필터가 연속하여 수 프레임동안 측정치를 갖지 못하는 경우 자동추적은 이 주파수선 표적을 사동으로 삭제한다. 이때 오래 지속된 표적과 잡음에 의해 잠시 발생한 궤적과의 삭제기준을 달리하기 위해서 가격함수를 도입하였다. 즉, 가격함수 값이 낮은 표적은 2~3프레임정도 측정치를 갖지 못하면 자동 삭제하고 가격함수 값은 높은 경우는 7~8프레임이상 측정치 연계 유무를 판단하여 자동 삭제한다.

## 3. 특징정보 처리

수중 표적은 발생하는 소음원에 따라서 각기 다른 특징정보를 가지며 표적의 주파수성분, 신호대 잡음비, 궤적의 길이 등 다양한 정보를 저장한다. 이러한 특징정보는 그림 2, 3의 경우처럼 동일 표적이 여러 방위에 나타나는 경우와 표적이 잠시 탐지 되지 않는 경우 동일 표적임을 판단하여 추적성능을 향상 시킬 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 다중 주파수선 표적이 가지고 있는 단일 주파수선의 궤적 길이와 신호 대 잡음비를 특징정보로 저장하여 사용하였다. 저장된 특징정보는 두 표적

의 상관관계를 이용하여 설정한 문턱값보다 큰 것들 중에서 가장 큰 두 표적을 동일 표적으로 판단하며 그림 4는 특징정보처리 과정을 나타낸다.

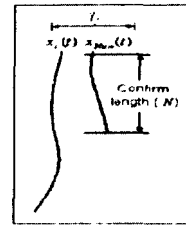


그림 2. 근접 표적의 동일 표적 판단

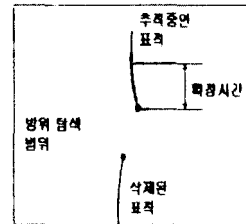


그림 3. 삭제된 표적과의 동일 표적 판단

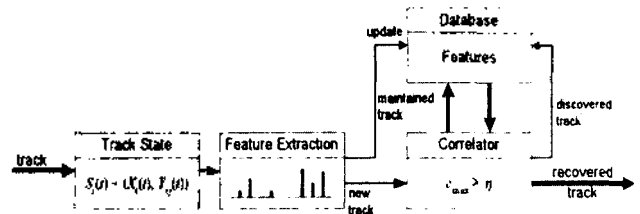


그림 4. 특징정보 처리 과정

## 4. 시험결과

개발한 자동탐지 및 추적 기법을 소나 장비에 적용하여 해상에서 실제 수중 표적을 탐지 및 추적하는 시험을 수 차례 수행하였다. 추적 성능 향상을 위하여 수년 간 획득한 실제 해상데이터를 이용하여 측정치 연계, 기존 표적과의 연계, 그룹화, 특징정보 처리시 상관관계 문턱값 등 파라미터들을 최적화 하였다. 해상 시험에서 표적의 미약한 신호에 대해 전방위를 자동으로 탐지 및 추적하였으며 표적의 특징정보를 이용하여 추적성능을 향상 시켰다. 그림 5의 좌측 그림은 실제 수중 표적의 다중 주파수가 탐지와 소멸을 반복하는 상황에서 동일 표적으로 지속적으로 추적하고 있음을 방위 궤적으로 보여 주고 있으며 우측 그림은 해당 표적의 탐지된 주파수를 보여주고 있다. 그림 6은 예인형 수동소나에 탑재된

GUI 화면으로 실제 수중 표적의 추적중인 상태를 나타낸다. 방위별로 많은 측정치들이 탐지되고 있으며 주파수와 방위의 거리를 매 프레임마다 비교하여 표적을 생성하여 추적중인 결과를 보여주며 지속적으로 표적이 탐지 추적됨을 확인할 수 있다. 또한 하나의 표적은 단일 혹은 다중 주파수를 포함할 수 있으므로 그 결과를 표적별로 전시하여 탐지 주파수가 변하는 상황에서도 동일 표적으로 지속적으로 추적됨을 확인하였다

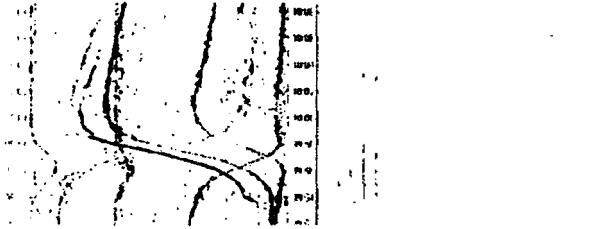


그림 5. 수중 표적의 특징정보 처리 결과

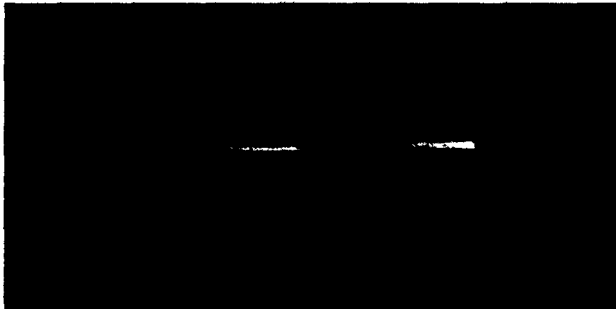


그림 6. 수중 표적의 추적 결과

## 5. 결론

본 논문에서는 잠수함의 정속함으로 인해 미약하게 탐지되는 상황과 복잡한 해양 탐지 환경에서 진방위에 대한 표적을 자동으로 탐지 및 추적하고 다중 주파수선에 의한 주파수 추가 및 삭제 과정을 구현하여 소나 장비에 적용하여 시험한 결과를 보여주었다. 수년 간 획득한 해상 데이터를 이용하여 탐지와 소실이 반복되는 복잡한 탐지 환경 하에서 적절한 파라미터들을 도출하여 실제 해상 시험에서 우수한 추적성능을 입증하였으며 추적성능을 향상시키기 위하여 표적의 특징정보를 추출 및 처리하여 표적의 재 탐지와 근접 방위 탐지 시 추적성능을 향상시켰다.

향후 표적의 고유 정보가 되는 다양한 특징정보를 구하고 표적의 기동과 다양한 해양 환경에 적합한 추적 필터의 구현으로 더욱 정밀한 추적 수행이 가능할 것으로

예상한다.

## 참고문헌

1. V. J. Aidala, "Kalman Filter Behavior in Bearings-Only Tracking Application," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-15, pp. 29-39, Jan. 1979.
2. Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann, Tracking and Data Association, Academic Press, San Diego, CA, 1988.
3. J. A. Roecker, "Multiple Scan Joint Probabilistic Data Association," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-31, pp. 1204-1210, Jul. 1995.
4. S. S. Blackman, Multiple-Target Tracking with Radar Applications, Artech House, 1986.
5. 이균경, "협대역 신호에 의한 다중표적 추적 및 천이소음 식별 - I 협대역 신호에 의한 다중표적 추적," 연구보고서, 국방과학연구소, 1995
6. 오원천, 서익수, 양인석, "저주파예인음탐기체계 정보처리 기술보고서," 연구보고서, 국방과학연구소, 2003