

논문 2012-49-9-20

소나 위치 추정 성능 향상을 위한 LS기반 MRAL 후처리 기법

(MRAL Post Processing based on LS for Performance Improvement of Active Sonar Localization)

장은정*, 한동석**

(Eun-jeong Jang and Dong Seog Han)

요약

수중 표적의 탐지를 위한 다중상태 소나에서 수신 신호는 많은 잔향 및 클러터 성분을 포함한다. 이는 표적탐지에서 오경보율을 높이는 주된 원인이다. MRAL(multiple return association and localization) 알고리즘은 수신신호를 위치적인 유사성을 기준으로 몇 개의 그룹으로 분류하고, 그룹의 수신신호들을 한 개의 반사체로부터 온 것으로 봄으로써 오경보율을 낮춘다. 그러나 그룹화로 인하여 MRAL 알고리즘의 결과로 나타나는 표적 및 클러터 등의 위치는 실제위치와 차이를 보일 수 있다. 본 논문에서는 MRAL 알고리즘의 출력으로서 나타나는 표적 및 클러터의 위치와 실제 표적 및 클러터의 위치와 차이를 줄이기 위하여, 후처리 기법으로 최소제곱법을 이용한 LS기반 MRAL 후처리 기법 알고리즘을 제안한다.

Abstract

In multi-static sonar for detecting an underwater target, received signals contain the target echo, reverberation and clutter. Clutter and reverberation are main causes of increasing the false alarm rate. MRAL classifies received signals according to the spatial similarity, and it regards classified signal as reflected signals from a reflector. MRAL reduces the false alarm rate this way. However, the results of MRAL can have localization errors. In this paper, an MRAL post processing algorithm is proposed to reduce the localization errors with the least square (LS) method.

Keywords: 능동소나, 위치추정, MRAL, 최소제곱법

I. 서론

능동소나를 이용한 수중 표적 탐지는 잠수함의 저소음화로 인하여 그 중요성이 부각되고 있다^[1]. 능동소나는 음원을 사용하여 음파를 방사하고, 수신기에서 표적에 반사된 신호를 처리하여 표적 위치 등의 정보를 얻는다. 이 때 수신신호는 표적에 반사되어 돌아오는 신

호 외에도, 수중지형 및 수중 생물 등에 반사되어 수신되는 신호 등 많은 잔향 및 클러터 신호를 포함한다. 잔향 신호 및 클러터 신호는 탐지의 오경보율을 증가시킨다^[2]. 또한 잔향은 특정 주파수 영역에만 집중적으로 분포하는 유색 잡음의 특성을 가지는데, 정합필터 기반 탐지기에 미치는 영향은 치명적이다^[3]. 이를 해결하기 위한 기법으로 CFAR(constant false alarm rate), MRAL(multiple return association and localization) 알고리즘 등이 있다.

CFAR 검파 기법은 각 수신기에서 주위 잡음과 잔향 준위에 따라 문턱값을 조절함으로써 잡음과 잔향의 영향으로 나타나는 표적 탐지 성능 저하를 개선시키는 기법이다^[4]. CFAR 검파를 거치더라도 문턱값에 따라 다

* 학생회원, ** 평생회원-교신저자, 경북대학교 IT대학 전자공학부

(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD100002KD)

접수일자: 2012년5월1일, 수정완료일: 2012년8월28일

수의 신호가 표적으로 판단될 수 있다. MRAL 알고리즘은 수많은 수신신호들을 지리적 위치에 기인한 그룹으로 분류하고, 그룹을 한 개의 반사체에서 온 신호라 간주함으로써 오정보율을 낮춘다^[5].

본 논문은 잔향에 의한 오정보율을 낮추기 위하여 여러 수신기의 데이터를 융합하여 탐지하는 MRAL 알고리즘을 사용한다. MRAL 알고리즘은 탐지 영역의 잔향 신호와 표적신호가 가리키는 위치를 좌표평면 위 몇 개의 점으로 매핑한다. 이 점을 샘플포인트라 하고, 샘플포인트는 좌표평면을 일정한 간격의 격자로 나누었을 때 생긴 격자점이다. MRAL 알고리즘의 최종 결과는 샘플포인트의 위치로 나타나는데, 그룹화의 결과로 샘플포인트의 위치는 표적이나 클러터의 실제 위치와는 차이를 보일 수 있다. 이는 샘플포인트 간격을 줄이면 어느 정도 해결이 가능하지만, 계산량이 늘어나는 단점이 있다^[5] 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 샘플포인트 기반의 MRAL 알고리즘에서 실제 표적 위치와 추정 표적의 위치 차를 줄이기 위하여 MRAL 후처리 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I장에 이어 II장과 III장에서는 다중상태 소나와 MRAL 알고리즘에 대하여 설명한다. 그리고 IV장에서 알고리즘의 문제점을 해결하기 위한 MRAL 후처리 알고리즘을 제안하고, V장에서 MRAL 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 다중상태 소나

본 장에서는 능동소나 중 다중상태 소나에 대하여 설명한다. 능동소나는 음원과 수신기의 개수와 위치에 따라서 3가지 형태로 나뉜다. 단상태 소나는 음원과 수신기가 각각 1개씩 있으며, 그 위치는 동일하다. 양상태 소나는 음원과 수신기가 1개씩이고, 그 위치는 서로 다르다. 마지막으로 다중상태 소나는 음원은 1개 이상, 수신기는 2개 이상이며, 그 위치는 서로 다르다. 이 중 다중상태 소나가 표적에 대한 정보의 수 측면에서 가장 유리하다. 단상태에서는 장거리 탐지가 발생할 수 있기 때문에 표적신호가 매우 미약할 수 있다. 그러나 다중상태 소나의 경우, 수신기들이 넓게 퍼져있기 때문에 장거리보다는 근거리 탐지 상황이 많이 발생하게 되어

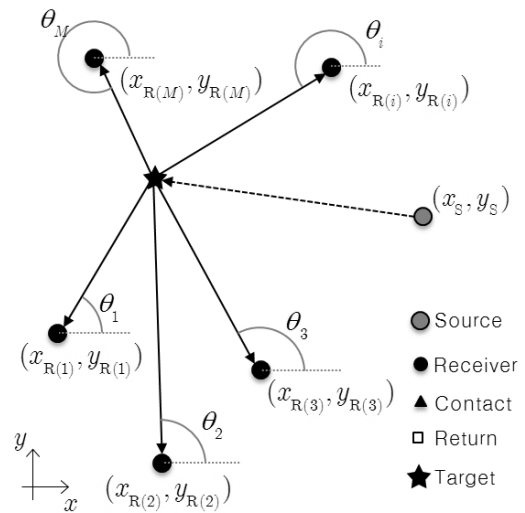


그림 1. 다중상태 능동소나 시스템의 구성도
Fig. 1. Multi-static active sonar geometry.

단상태 또는 양상태 소나보다 신뢰성 있는 탐지가 가능하다. 그 이유는 다수의 수신기를 사용함으로써, 한 번의 음파의 방사에서 단상태 또는 양상태 소나에 비해서 더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 해석의 편의를 위하여 음원이 1개이고, 수신기의 개수가 M 개인 다중상태 소나에 대하여 다룬다. 다중상태 소나에서 음원과 수신기들의 위치를 알고 있다고 가정하며 다음과 같이 둔다. 본 논문에서 이는 그림 1과 같이 음원의 위치는 (x_s, y_s) 이고, 총 M 개의 수신기 중 i 번째 수신기의 위치는 $(x_{R(i)}, y_{R(i)})$ 라 둔다. 음원과 i 번째 수신기의 사이의 거리는 $R_{SR(i)}$ 이라 표현한다.

한 번의 음파 방사로 수신기가 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다. 수신기는 음파가 음원에서부터 시작해 반사체를 거쳐 수신기까지 도달하기까지의 시간을 알 수 있고, 이에 수중 음파속도를 곱하면 음파의 이동거리 또한 알 수 있다. 이와 함께 수신기 각각은 표적과 수신기를 이은 선분과 수신기를 중심으로 x 축과 수평한 방향으로 그은 직선이 이루는 각인 방위각 θ_i 도 알고 있다^[6]. 음파의 이동거리와 방위각 정보를 조합하면, 각 i 번째 수신기의 수신신호로써 알 수 있는 예측 위치는 다음과 같이 표현된다^[7].

$$\hat{x} = x_{R(i)} + \left(\frac{R_{TR(i)}^2 - R_{SR(i)}^2}{2(R_{TR(i)} - R_{SR(i)} \cos \theta_{R(i)})} \right) \cos \theta_i \quad (1)$$

$$\hat{y} = y_{R(i)} + \left(\frac{R_{TR(i)}^2 - R_{SR(i)}^2}{2(R_{TR(i)} - R_{SR(i)} \cos \theta_{R(i)})} \right) \sin \theta_i \quad (2)$$

여기서 $R_{TR(i)}$ 는 i 번째 수신기와 표적과의 거리를 나타내며, $\theta_{R(i)}$ 는 i 번째 수신기와 음원을 잇는 선과 i 번째 수신기와 표적을 잇는 선이 이루는 각을 뜻한다^[7].

III. MRAL 알고리즘

능동소나의 수신신호가 표적 신호만을 포함한다면 가장 좋겠지만, 수신신호는 표적 신호 외에 다른 성분들을 포함한다. 이것을 잔향이라 하며, 이는 수중지형에 반사되거나 수중생물체 및 여러 물체에 반사되어 수신된 것으로 클러터 성분을 포함한다. 잔향은 능동소나에서 오경보율을 높이는 주된 요인이다. 수신기가 1개인 단상 상태 또는 양상 상태 소나는 수신기 1개에서만 잔향의 영향을 받지만, 수신기가 여러 개인 다중상 상태 소나가 받는 잔향의 영향은 수신기 수에 비례하여 증가한다. 그러므로 다수의 수신기에 의한 개별적인 수신신호를 지리학적으로 분류할 필요가 있다. 예를 들어 해저에 큰 반사체가 존재한다고 하자. 만약 반사된 신호가 투과 손실의 영향을 받았을 때, 모든 수신기에 문턱값을 넘는 크기로 수신된다면, 큰 바위에 대한 신호는 모든 수신기에 1개씩 있다. 이 수신신호들을 분류하여 하나의 표현으로 나타낼 필요가 있다는 것이다.

본 논문에서는 수신신호의 이러한 분류를 위하여

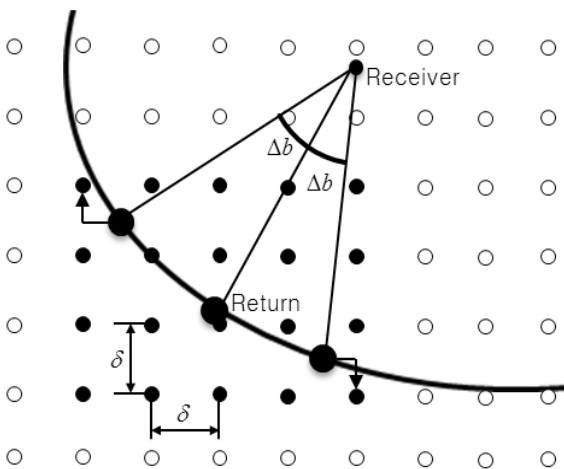


그림 2. 각 return이 매핑될 후보 샘플포인트의 선정
Fig. 2. Candidate sample points for mapping a return.

MRAL 알고리즘을 사용한다^[5]. MRAL 알고리즘은 데이터 융합 알고리즘으로 여러 수신기의 데이터를 한데 아울러 연산을 하고, 문턱값을 넘는 신호들에 의한 많은 횃수의 경보를 서로 연관성 있는 것들로 분류하여, 하나의 수신신호로 묶으로써 오경보율을 낮춘다. MRAL 알고리즘에서는 이동 시간과 방위각 정보를 ‘리턴’이라 명명한다. 최종적으로 각 리턴은 하나의 샘플포인트로 매핑된다. 이 때 하나의 샘플포인트에 매핑된 리턴들의 집합을 콘택트라 한다. 본 논문에서는 MRAL 알고리즘을 3단계로 나누어 설명한다^[5].

첫 번째 단계는 각 리턴을 샘플포인트로 매핑시키기 위하여, 각 리턴이 매핑될 샘플포인트들을 선정하는 단계이다. 즉, 하나의 리턴에 의해 선정된 샘플포인트들은 리턴이 그 곳에서 반사되어 수신되었을 가능성이 있는 곳임을 의미한다. 이 단계에서 제일 먼저 하는 작업은 그림 2와 같이 간격을 δ 로 직교하는 격자를 그리고, 격자의 교차점을 샘플포인트로서 정하는 것이다. δ 가 클수록 리턴은 리턴이 가리키는 위치와는 차이가 나게 매핑될 가능성이 크다. 반대로 δ 가 작을수록 리턴이 자세하게 매핑되지만, 계산량이 커지는 단점이 있다^[5]. 이어서 하나의 수신기의 리턴들 각각에 대하여 매핑될 샘플포인트들을 선정하는 작업을 한다. 이 작업을 위하여 방위각 허용오차 Δb 가 필요하다. Δb 는 그 리턴이 가지는 정보에 대한 허용오차의 의미로서 사용된다. 각 리턴이 가지는 시간 정보를 가지고 등시간타원^[8]을 그리고, 등시간타원 위에서 리턴이 가지는 방위각에 Δb 를 더하고 뺀 값을 방위각으로 가지는 두 점을 택한다. 이 후 두 점을 대각선으로 이어 만든 직사각형을 확장하는 방식으로 두 점에서 가장 가까운 샘플포인트를 각각 택한다. 택한 두 샘플포인트를 이은 선분을 대각선으로 하는 직사각형을 만들고, 그 안에 존재하는 샘플포인트들을 하나의 리턴이 매핑될 샘플포인트들로 선정한다. 이를 그림 2에 나타내었다.

선정된 샘플포인트들 각각은 각 샘플포인트에 반사되어 수신되었을 것이라 보이는 리턴들을 자신의 콘택트로 갖는다. 이 작업에서는 시간 허용오차 ΔT 를 이용한 기준이 존재한다. ΔT 는 일종의 잡음 여유(noise margin)로 리턴이 가지는 시간정보에 대한 허용오차 값이다. 콘택트를 결정하는 방법은 다음과 같다. 음원에서 샘플포인트를 거쳐 수신기까지의 이동 시간을 τ 라 두고, 여러 리턴들이 가지는 시간정보들 중 τ 와의 차이가

ΔT 이하인 것을 각 샘플포인트의 콘택트 요소들로 결정한다.

두 번째 단계는 각 샘플포인트의 콘택트가 가지는 리턴들 중 의미가 있는 리턴들로만 콘택트를 재구성하는 것이다. 의미가 있고 없음은 방위각 허용오차를 이용하여 구분한다. 만약 각 샘플포인트가 가지는 방위각 정보와 해당 콘택트의 리턴들이 가지는 방위각 정보와의 차이가 방위각 허용오차보다 큰 리턴은 콘택트에서 배제시킨다.

앞의 두 단계를 거쳐 구성된 콘택트들을 모아놓은 리스트를 콘택트리스트라 부른다. 각 콘택트의 리턴들은 서로 다른 샘플포인트가 가지는 콘택트에 동시에 존재할 수 있다. 세 번째 단계에서는 하나의 리턴을 하나의 샘플포인트로만 매핑하고, 이를 통하여 샘플포인트들의 수를 줄인다. 분류 및 통합 작업은 다음과 같은 두 개의 규칙을 가지고 시행한다.

첫 번째 규칙은 다음과 같다. 이 작업은 새로운 콘택트가 만들어질 때마다 이루어진다. 모든 콘택트 각각을 집합으로 생각하고 콘택트가 가지는 리턴들을 집합의 원소라 보자. 새로운 콘택트가 기존의 콘택트리스트 내의 어떤 콘택트의 진부분집합이 된다면, 새로운 콘택트는 곧바로 삭제한다. k 번째 콘택트를 Contact k 라 표기하고, 예를 들어 콘택트리스트 내에 Contact A, Contact B, Contact C가 있다하자. 새로운 콘택트 Contact D가 생성되었을 때, Contact D가 Contact A, B, C의 진부분집합이라면 Contact D는 삭제하고, 아니라면 콘택트리스트에 포함시킨다. 이 규칙을 모든 새로운 콘택트들에 대하여 적용한다.

두 번째 규칙은 통합 작업을 위한 것이다. 콘택트리스트 중 하나의 콘택트를 기준으로 잡고, 이를 Contact A라 두자. Contact A가 가지는 리턴들 중 하나가 콘택트리스트의 다른 콘택트의 리턴들 중 하나이고, 콘택트의 리턴 개수가 Contact A의 개수보다 많다면, Contact A에서 그 리턴은 제거한다. 만약 반대라면, 해당 콘택트에서 그 리턴을 제거한다. 이러한 규칙으로 콘택트리스트 중 각각의 콘택트를 기준으로 잡고 해당 작업을 해나간다. 이 작업은 더 이상 이 규칙을 적용할 수 없을 때 중단한다. 최종 콘택트리스트의 콘택트 각각이 가리키는 샘플포인트는 하나의 클러스터나 표적의 위치가 된다.

MRAL 알고리즘의 출력인 콘택트가 가리키는 샘플

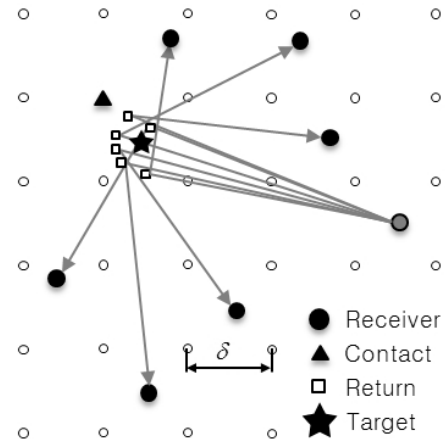


그림 3. 하나의 콘택트에 속한 리턴들
Fig. 3. Returns composition of one contact.

포인트 중 표적일 가능성이 높은 것은 다수의 리턴들로 구성된 콘택트가 가리키는 샘플포인트이다. 이는 표적 및 클러스터의 위치를 샘플포인트로 매핑한 것으로, 표적이나 클러스터의 실제 위치와는 차이가 있을 수 있다. 즉, δ 가 넓어질수록 MRAL 알고리즘의 출력 결과와 표적이나 클러스터의 실제 위치 간 오차거리가 증가함을 유추할 수 있다. 오차거리를 줄이기 위해서는 δ 를 가능한 작게 설정하여야 한다. 그러나 이는 시스템의 계산량을 높이는 단점이 있다^[5].

그림 3에는 MRAL 알고리즘 수행 후 도출된 콘택트들 중 하나와, 이에 대한 리턴들을 나타내었다. 음원에서 출발해 리턴의 위치에서 반사된 음파가 수신기에 도착하기까지의 궤적과 이동방향은 직선과 화살표로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 실제 표적과 MRAL 알고리즘의 출력인 콘택트가 가리키는 샘플포인트와 실제 표적 위치는 차이가 있다. 표적이 샘플포인트 4개가 이루는 사각형의 중심에 있다면, 그 차이는 가장 클 것이다. 또한 실제 표적이 샘플포인트와 가까이에 있다면 그 차이는 작을 것이며, 경우에 따라 차이가 없을 수도 있다.

IV. 제안하는 LS기반 MRAL 후처리 알고리즘

본 논문에서는 MRAL 알고리즘 출력과 해당 표적 및 클러스터의 실제 위치와의 오차거리를 줄이기 위하여 최소제곱법(method of least squares)을 사용한 MRAL 후처리 알고리즘을 제안한다. 최소제곱법은 방정식의

해를 근사적으로 구하는 기법으로서, 근사적으로 구하려는 해와 실제 해의 오차 제곱 합이 최소가 되도록 하는 해를 구하는 추정법이다^[9].

MRAL 후처리 알고리즘은 MRAL 알고리즘의 출력인 각 콘택트들의 리턴이 가지는 정보를 최소제곱법의 입력으로 사용한다. MRAL 출력으로 나온 콘택트들 중 최소제곱법을 적용 가능한 콘택트들의 수를 K 라고 두자. Contact k 가 가지는 리턴들의 수를 N_k 라 두자. Contact k 의 n 번째 리턴이 가지는 정보는 수신기 위치 $(x_{R(k,n)}, y_{R(k,n)})$ 와 시간 정보 $t_{R(k,n)}$, 방위각 정보 $\theta_{R(k,n)}$ 이다. n 번째 리턴이 가리키는 표적의 위치와 음원 사이의 거리는 $R_{ST(k,n)}$, 표적 위치와 수신기 사이의 거리는 $R_{TR(k,n)}$ 라고 두자. $R_{ST(k,n)}$ 과 $R_{TR(k,n)}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} R_{ST(k,n)}^2 &= (ct_{R(k,n)} - R_{TR(k,n)})^2 \\ &= (\widehat{x}_{LS} - x_s)^2 - (\widehat{y}_{LS} - y_s)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_{TR(k,n)}^2 &= (ct_{R(k,n)} - R_{ST(k,n)})^2 \\ &= (\widehat{x}_{LS} - x_{R(k,n)})^2 - (\widehat{y}_{LS} - y_{R(k,n)})^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 c 는 수중 음파 속력이고, $t_{R(k,n)}$ 은 음원에서 표적까지 음파가 이동하는데 걸리는 시간, $t_{R(k,n)}$ 은 음파가 표적에서 수신기까지 이동하는 시간이다. 식 (3)과 (4)의 차를 각 리턴이 나타내는 수신기에 대하여 행렬식으로 나타내면 다음과 같다^[7].

$$\begin{bmatrix} x_s - x_{R(k,1)} & x_s - x_{R(k,1)} \\ \vdots & \vdots \\ x_s - x_{R(k,N_k)} & x_s - x_{R(k,N_k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widehat{x}_{LS} \\ \widehat{y}_{LS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{TR(k,1)}^2 - R_{ST(k,1)}^2 \\ \vdots \\ R_{TR(k,N_k)}^2 - R_{ST(k,N_k)}^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 각 벡터와 행렬을 다음과 같이 표현한다.

$$\mathbf{A}_k = \begin{bmatrix} x_s - x_{R(k,1)} & x_s - x_{R(k,1)} \\ \vdots & \vdots \\ x_s - x_{R(k,N_k)} & x_s - x_{R(k,N_k)} \end{bmatrix}, \hat{\mathbf{x}}_k = \begin{bmatrix} \widehat{x}_{LS} \\ \widehat{y}_{LS} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_k = \begin{bmatrix} R_{TR(k,1)}^2 - R_{ST(k,1)}^2 + x_{R(k,1)} + y_{R(k,1)} - x_s^2 - y_s^2 \\ \vdots \\ R_{TR(k,N_k)}^2 - R_{ST(k,N_k)}^2 \\ \vdots \\ R_{TR(k,N_k)}^2 - R_{ST(k,N_k)}^2 + x_{R(k,N_k)} + y_{R(k,N_k)} - x_s^2 - y_s^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기에서 $\hat{\mathbf{x}}_k$ 를 구하는 방법은 다음과 같으며, 이것이 Contact k 의 MRAL 후처리 알고리즘의 출력이다^[10]. 이는 MRAL 후처리 알고리즘이 추정된 표적 위치 및 클러터의 위치가 된다.

$$\hat{\mathbf{x}}_k = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{A}_k)^{-1} \mathbf{A}_k^T \mathbf{b}_k \quad (7)$$

V. 컴퓨터 모의실험

본 장에서는 제안한 MRAL 후처리 알고리즘의 성능을 컴퓨터 모의실험을 통하여 MRAL 알고리즘의 성능과 비교한다. 컴퓨터 모의실험 환경은 다음과 같다. 음원은 1개를 사용하였으며, 수신기는 10개를 사용하였다. 음파의 방사회수는 6번이고, 방사되는 음파의 파형은 CW(continuous wave), FM(frequency modulated) 펄스를 1번씩 번갈아 사용하였다. 또한 표적은 정지해있다고 가정하였다. 또한 음원에서 방사된 신호가 어디에도 반사되지 않고 바로 수신되는 신호인 다이렉트 블라스트(direct blast) 신호에 대하여 마스킹(masking)을 적용하였다^[8]. 또한 리턴이 가지는 정보인 거리정보와 방위각의 오차분포는 각각 레일리(Rayleigh) 분포와 가우스(Gaussian) 분포를 따르며, 각 오차의 표준편차는 10m, 2.1°라 두었다^[11]. 샘플포인트 간격은 200m이며, 방위각 허용오차는 MRAL 수행의 편의를 위해, 방위각 오차 분포의 표준편차를 사용하였다. 또한 시간 허용오차는 거리 허용오차 분포의 표준편차를 음파속도로 나눈 값을 사용하였다.

MRAL 후처리 알고리즘은 MRAL의 출력값의 정확성을 높이고자 한다. 그러므로 클러터는 없다고 두었으며 표적은 1개로 두었다. MRAL 알고리즘의 출력으로 나오는 여러 콘택트들이 가리키는 샘플포인트의 위치들 중 표적과 가장 가까운 것을 골라 평균제곱근오차를 구하고, MRAL 후처리 알고리즘의 경우도 마찬가지로 방법으로 평균제곱근오차를 구하였다. 실험은 샘플포인트 간격이 200m, 300m인 경우에 대하여 행하여졌으며, 실

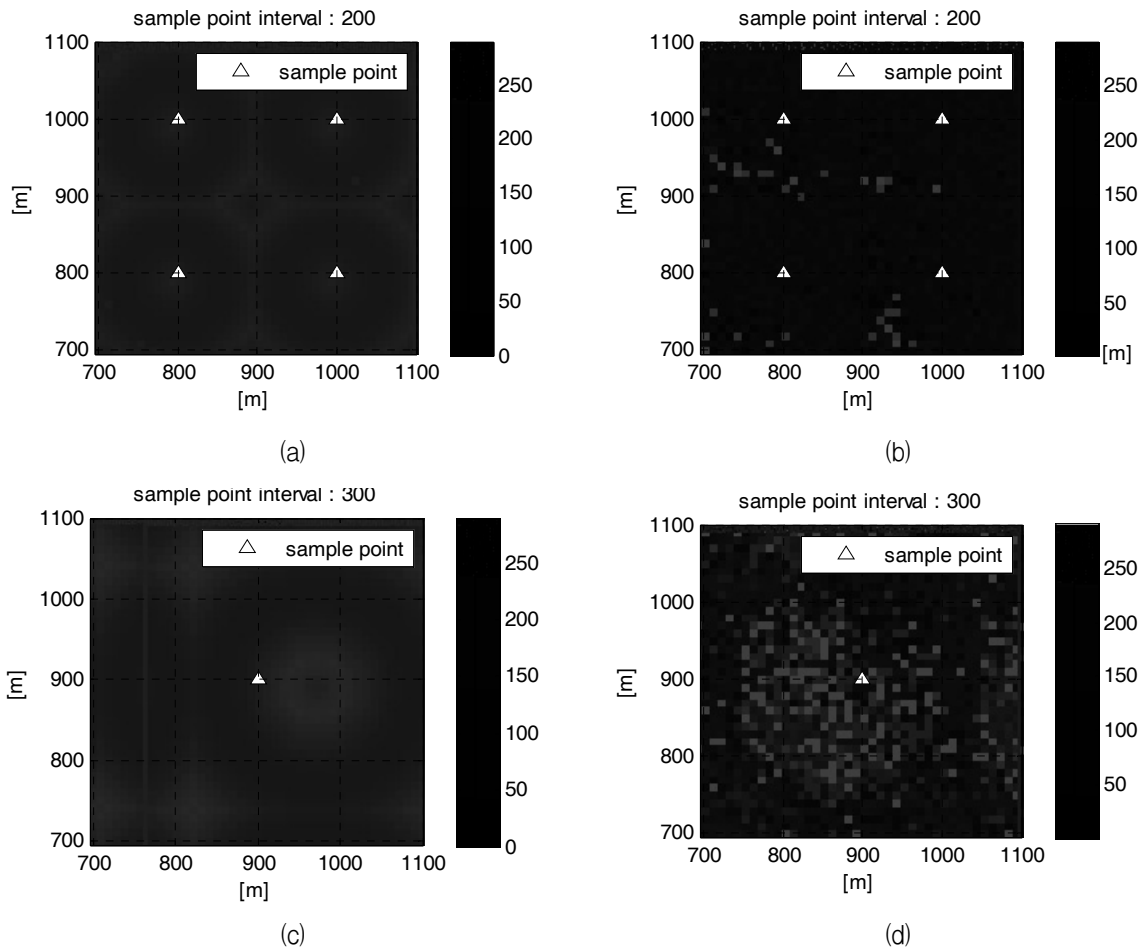


그림 4. 표적이 x-y평면상의 표적에 대한 MRAL 수행 결과(콘택트)와 표적의 위치 간 평균제곱근오차 및 제안한 알고리즘의 수행 결과(콘택트)와 표적의 위치 간 평균제곱근오차
(a) MRAL, 샘플포인트 간격 200 m (b) MRAL 후처리, 샘플포인트 간격 200 m
(c) MRAL, 샘플포인트 간격 300 m (d) MRAL 후처리, 샘플포인트 간격 300 m

Fig. 4. The rmse of the MRAL result(contact) and the post processing according to the position of the real target on x-y plane.
(a) MRAL, sample point resolution 200 m (b) MRAL 후처리, sample point resolution 200 m
(c) MRAL, sample point resolution 300 m (d) MRAL 후처리, sample point resolution 300 m

험 결과는 그림 4에 나타내었다.

그림 4의 (a), (c)의 결과를 살펴보면, 표적이 샘플포인트에 가까운 곳에 위치할수록 MRAL 알고리즘의 출력값과 표적의 실제 위치의 평균제곱근오차는 작다. 그러나 샘플포인트를 격자점으로 보고, 격자의 중심에 표적이 위치할 경우 MRAL 알고리즘의 출력값과 실제 표적의 위치의 평균제곱근오차는 다른 곳에 비하여 상대적으로 크다. 따라서 샘플포인트 간격이 클수록 평균제곱근오차의 최대값은 커지며, 샘플포인트 간격이 좁으면 좁을수록 평균제곱근오차는 작아지므로 정확도 측면에서 성능이 좋아진다. 그러나 샘플포인트 간격

이 좁아지면 MRAL 알고리즘 수행 시 하나의 리턴이 매핑될 수 있는 대상 샘플포인트의 개수가 각 리턴마다 증가하며, 이는 곧 계산량 증가라는 문제와 직결된다^[5].

MRAL 후처리 알고리즘의 실험 결과는 그림 4의 (b)와 (d)에 나타내었다. 그림 4의 (a)와 (b), (c)와 (d)는 샘플포인트 간격이 각각 200m, 300m이므로, 각 쌍은 성능 비교를 위한 상대평가 집단이다. 우선 샘플포인트 간격이 200m인 경우 MRAL 알고리즘의 실험 결과인 그림 4(a)와 제안한 MRAL 후처리 알고리즘의 실험 결과인 그림 4(b)를 비교해보자. 그림 4(a)에서는 표적의 위치가 샘플포인트가 이루는 격자의 중심에 가까

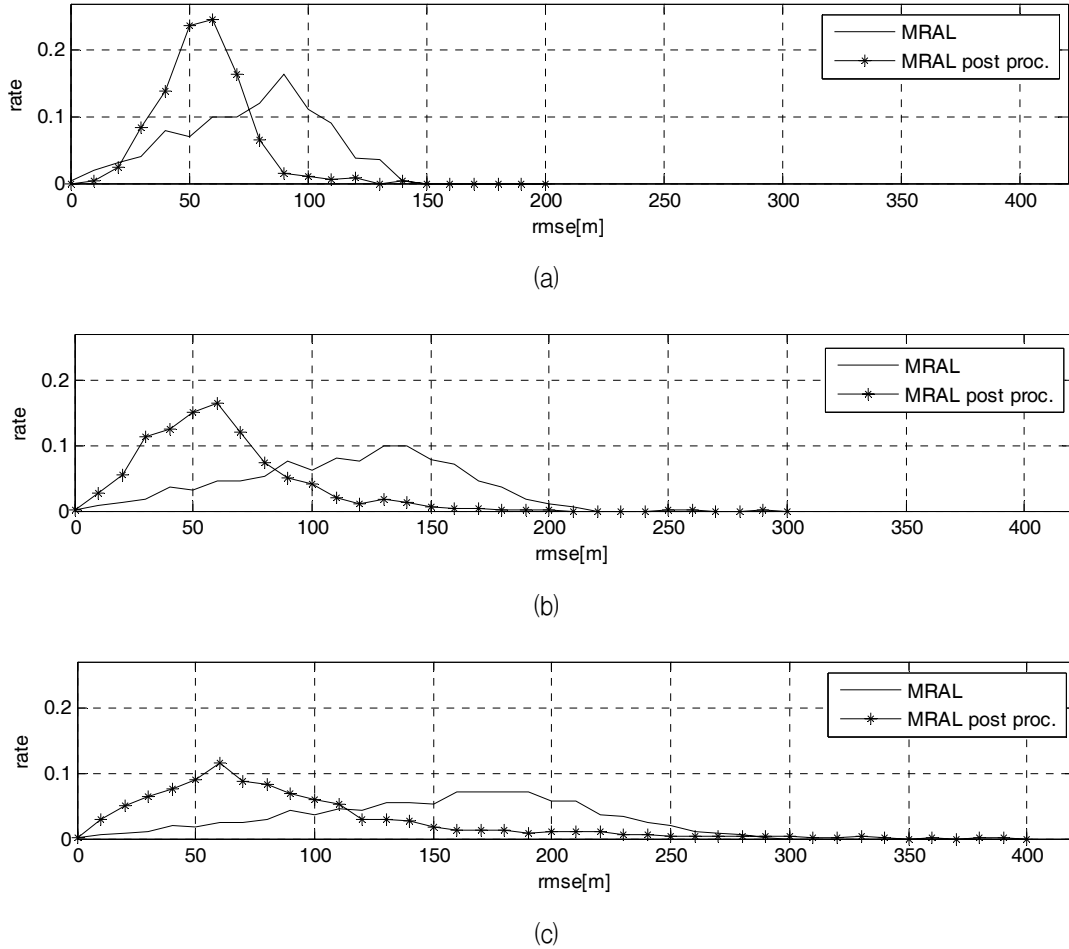


그림 5. 표적이 x-y평면상의 표적에 대한 MRAL 수행 결과(콘택트)와 표적의 위치 간 평균제곱근오차 및 제안한 알고리즘의 수행 결과(콘택트)와 표적의 위치 간 평균제곱근오차의 확률밀도함수
 (a) 샘플포인트 간격 200 m (b) 샘플포인트 간격 300 m (c) 샘플포인트 간격 400 m
 Fig. 5. Probability density functions of rmse of the MRAL result(contact) and the MRAL post processing according to the position of the real target on x-y plane.
 (a) Sample point resolution 200 m (b) Sample point resolution 300 m (c) Sample point resolution 400 m

위질수록 평균제곱근오차가 커지는 것을 볼 수 있으나, 그림 4(b)에서는 표적의 위치가 격자의 중심에 가까워져도 평균제곱근오차는 별다른 변화를 보이지 않는다. 또한 그림 4의 (c)와 (d)도 마찬가지로의 결과를 보여주었다. 이러한 결과에서 MRAL 알고리즘의 경우 표적의 위치가 샘플포인트에서 멀어질수록 정확도가 떨어지는 성능 열화를 보이나, 제안한 MRAL 후처리 알고리즘은 MRAL 알고리즘의 성능을 개선시킴을 확인할 수 있다.

그림 4의 결과를 수치적으로 명확하게 알아보기 위하여, MRAL 알고리즘과 MRAL 후처리 알고리즘의 평균제곱근 오차의 확률밀도함수 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 샘플포인트 간격이 넓어지면 넓어질수록 평

균제곱근오차의 범위가 넓어진다. 제안된 MRAL 후처리 알고리즘의 확률 밀도함수는 MRAL의 것보다 작은 평균제곱근오차 값에 더 큰 확률값을 가지는 것을 볼 수 있다. 즉, MRAL 후처리 알고리즘의 성능이 더 작은 오차를 가질 확률이 높다는 것이다.

VI. 결 론

능동 소나를 이용한 수중 표적 탐지에서 잔향과 클러터는 탐지 오경보율을 높이는 주된 원인이다. 이를 해결하기 위한 알고리즘 중에는 MRAL 알고리즘이 있다. MRAL 알고리즘의 결과로 나타나는 표적 및 클러터 등

의 위치는 실제위치와는 차이를 보일 수 있다. 본 논문에서는 MRAL 알고리즘의 결과와 실제위치의 차이를 줄이기 위하여 최소제곱법을 이용한 MRAL 후처리 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 MRAL 알고리즘의 결과로 나타나는 표적 위치와 실제 위치의 차이를 줄여 뛰어난 표적 위치 추정 성능을 보여주었다. 그러나 MRAL 후처리 알고리즘의 실험결과에서 샘플포인트가 이루는 격자의 중앙에 가면, MRAL 알고리즘의 성능보다는 오히려 약간의 성능의 저하가 나타난다. 앞으로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

using maximum likelihood approach”, *Proceedings of International Conference on Signal Processing*, pp. 1964–1967, Beijing, China, 2000.

- [11] M. A. McDonald, “DIFAR hydrophone usage in whale research”, *Canadian Acoustics*, vol. 32, no. 2, pp. 155 - 160, 2002.

참 고 문 헌

- [1] 이균경, “다중 수중 표적 환경에 강인한 OSR CFAR 알고리즘”, 전자공학회지, 제35권, 제10호, 63-70쪽, 2008년 10월.
- [2] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound 3rd Edition*, Peninsula Publishing, vol. 105, no. 6, pp. 377 - 401, 1996.
- [3] V. Carmillet, P. O. Amblard, and G. Jourdain, “Detection of phase- or frequency-modulated signals in reverberation noise”, *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 105, no. 6, pp. 3375-3389, 1999.
- [4] 홍성원, 한동석, “다중 수중 표적 환경에 강인한 OSR CFAR 알고리즘”, 전자공학회논문지 TC편, 제 48권, 제4호, 351-356쪽, 2011년 4월.
- [5] A. Coon, “Spatial Correlation of Detections for Impulsive Echo Ranging Sonar,” *JOHNS HOPKINS APL Technical Digest*, Vol. 18, No. 1, pp. 105 - 112, 1997.
- [6] 류창수, 이장식, 이균경, “효율적으로 방위각 이노베이션을 구하는 다중표적 방위각 추적 알고리즘”, 전자공학회논문지 SC편, 제38권, 제6호, 1-8쪽, 2001년 11월.
- [7] S. Kim, B. Ku, W. Hong and H. Ko “Performance comparison of target localization for active sonar systems”, *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 44, no. 4, pp. 1371-1380, 2008.
- [8] H. Cox, *Fundamentals of Bistatic Active Sonar*, in *Underwater Acoustic Data Processing*, Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [9] O. Bretscher, *Linear Algebra With Applications*, 3rd ed.. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall. 1995.
- [10] Y. Wenlin and W. Chongyu. “Target location and speed estimation by multistatic radar system

— 저 자 소 개 —



장은정(학생회원)
 2010년 경북대학교
 전자전기컴퓨터학부 공학사
 2012년 경북대학교 대학원 전자전
 기컴퓨터학부 공학석사
 2012년~현재 경북대학교 대학원
 전자전기컴퓨터학부
 박사과정

<주관심분야 : 통신신호처리, 수중탐지>



한 동 석(평생회원)-교신저자
 1987년 경북대학교
 전자공학과 공학사
 1989년 KAIST 전기 및
 전자공학과 공학석사
 1993년 KAIST 전기 및
 전자공학과 공학박사
 1987년 10월~1996년 8월 삼성전자 기술총괄
 신호처리 연구소 선임연구원
 1996년 8월~현재 경북대학교 IT대학 교수
 2006년 7월~2008년 7월 정보통신연구진흥원
 디지털 TV/방송사업단 단장
 <주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통시스
 템>