

주파수 가중치를 적용한 3조의 수동 선배열 소나 센서의 정보 연관 성능 분석

Performance Analysis of Data Association Applied Frequency Weighting in 3-Passive Linear Array Sonars

구 본 화*, 윤 제 한**, 흥 우 영***, 고 한 석**
(Bon-Hwa Ku*, Je-Han Yoon**, Woo-Young Hong***, Hanseok Ko**)

* 고려대학교 영상정보처리학과, ** 고려대학교 전자컴퓨터공학과, *** 해군사관학교
(접수일자: 2002년 11월 9일; 수정일자: 2004년 1월 12일; 채택일자: 2004년 1월 19일)

본 논문에서는 수중 환경에 Y자형으로 배치된 3조의 수동 선배열 소나 (Passive linear array sonars) 센서의 정보 연관 기법에 대해서 다룬다. 3조의 PLAS의 정보 연관은 NP-Hard로 알려진 3차원 할당 문제로 변형된다. 일반적인 수동 센서의 경우 기존의 접근 방법을 이용할 수 있지만 방위 정보에 좌우 불확실성 (Bearing ambiguity)이 존재하는 PLAS에서는 개선된 방법이 필요하다. 특히 본 논문에서는 주파수 정보를 통한 가중치를 이용하여 방위 오차에 강인한 정보 연관 기법을 제안하였으며 PLAS와 표적간의 기하학적인 관계에 따른 ghost 문제 발생 영역을 분석하였다. 다중 표적 환경에서의 모의 실험을 통해 개선된 방법의 정보 연관 성능에 대해 알아보았다.

핵심용어: 정보 연관, 3차원 할당, 방위 불확실성, Ghost 문제, 수동 선배열 소나

루고분야: 수중음향 분야 (5, 8)

This paper deals with data association using 3 sets of passive linear array sonars (PLAS) geometrically positioned in a Y-shaped configuration, but fixed in an underwater environment. The data association problem is directly transformed into a 3-D assignment problem, which is known to be NP-hard. For generic passive sensors, it can be solved using conventional algorithms, while it in PLAS becomes a formidable task due to the presence of bearing ambiguity. In particular, we proposed data association method robust to bearing measurements errors by incorporating frequency information and analyze a region of ghost problem by geometrical relation PLAS and target. We analyzed the effectiveness of the proposed method by representative simulation in multi-target.

Keywords: Data association, 3D-assignment, Bearing ambiguity, Ghost problem, Passive linear array sonars

ASK subject classification: Underwater acoustic (5, 8)

1. 서론

다중 센서 다중 표적 추적 (Multisensor multitarget tracking) 분야에서 상태 추정 (State estimation)을 하기 위해서는 정보 연관 (Data association) 기법은 필수적인 과정이며 표적의 상태 추정 정확성에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 이러한 정보 연관은 특정한 관측값이 어느 표적에서 발생하였는지를 결정하는 것으로 [1-3], 다중 수동 센서를 이용하여 표적의 위치를 추정하기 위해서는

각 센서에서 관측된 동일 표적 방위 정보들의 삼각 측량 법이 (Triangulation) 필요하다. 일반적으로 동일한 표적 방위를 구하기 위해서 각 센서에서 관측된 모든 방위 정보들의 가능한 모든 조합 집합들 중, 동일 표적에서 발생했을 확률이 높은 조합 집합을 선택하게 된다. 여기서 선택된 방위 조합 집합의 개수는 감시 영역안의 표적의 개수가 된다. 그러나 올바른 표적의 위치 추정 및 개수를 알기 위해서는 최소한 3개 이상의 수동 센서가 필요하다. 이것은 2개의 센서만을 이용할 경우 후보 조합들의 확률 값이 동일해 지는 허위 표적 문제 (Ghost problem)가 발생하기 때문이다. 이런 3조의 수동 센서의 정보 연관 문제는 일반적인 3차원 할당 문제로 (3 dimensional assign-

ment problem) 변형된다[4]. 여기서 좌표 (i, j, k) 가 선택 될 경우 할당 행렬에 (Assignment matrix) 1를 할당하며, 이것은 센서 1의 i 번째 관측치, 센서 2의 j 번째 관측치, 센서 3의 k 번째 관측치가 동일 표적으로 연관될 경우를 나타낸다. 즉 정보 연관 문제는 3차원 할당에서 위험도 (Cost) 값을 최소화시키는 문제가 된다. 최대 우도법 (Maximum likelihood approach)에서 위험도는 연관된 모든 관측치들이 동일한 표적에서 발생했을 우도값과 허위 정보들 (False alarms)에서 발생했을 우도값의 비에 대해 음의 log (Negative log)를 취한 형태가 된다[1-4]. 그러나 이러한 3차원 할당 문제는 표적의 개수가 증가할 수록 연산량 문제가 기하급수적으로 증가되는 NP-hard 문제가 발생된다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 학자들이 연구를 수행해 오고 있다[1-6]. 특히 [4]에서는 허위 정보 (false alarm) 및 미탐지가 발생한 환경하에서의 NP-hard 문제를 라그랑지 완화 기법 (Lagrangian relaxation method)을 통해 해결하였다.

본 논문에서 다루는 수동 선배열 소나 센서 (Passive linear array sonar sensors)는 수동 센서의 일종으로, 탐지된 물체와 센서간의 방위 정보 및 표적의 특성 정보인 주파수 정보를 제공한다. 그러나 PLAS는 좌위 대칭 표적을 구분하지 못하는 관계로 방위 정보 불확실성 (Bearing ambiguity)이 존재하게 된다. 즉, 관측된 방위에는 2가지의 가능성을 내포하고 있다. 이것은 PLAS의 치명적인 문제 중에 하나이며 3조의 PLAS의 연관시 잘못된 연관 결과를 초래하게 된다. 위와 같은 사항으로 기존의 방법[4]를 PLAS의 연관 문제에 그대로 적용하는 것은 적절하지 못하다. 본 논문에서는 좌위 대칭이 구분되지 않은 관측치들을 이용하여 후보 연관들을 생성 후, 그 안에서 실제 표적 방위와 ghost 방위를 구분하는 절차를 수행한다. 즉 후보 연관 내에서 각 PLAS의 방위는 좌위 구분이 되지 않은 상태이므로 각각의 조합을 생성할 수 있으며, 이들 중 위험도가 가장 적은 것을 후보 연관의 위험도 값으로 인정한다. 이때의 조합 집합을 후보 연관의 방위 조합으로 인정한다. 또한 본 논문에서는 주파수들간의 유사성을 기반으로 생성된 가중치를 통해 방위 오차에 강인한 정보 연관 방법을 제안하였다. 방위 정보만을 이용한 정보 연관에서는 방위 오차가 증가하거나 표적이 많아지는 복잡한 환경하에서는 오연관의 가능성이 증가하게 된다. 본 논문에서는 방위 정보들의 후보 연관 위험도에 주파수 정보를 통한 가중치를 부여하는 방법을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3조의 PLAS에 대한 센서 배치도에 대해 설명하였으며, 3장에서는 개

선된 정보 연관 알고리즘에 대해서 제시하였다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 다루며, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 센서 배치

본 논문에서는 그림 1과 같이 2차원의 동일한 평면 좌표상에서의 표적 및 센서를 고려한다. 각 표적 및 PLAS 위치는 평면 좌표값으로 나타낼 수 있다. 3 조의 PLAS는 그림 1과 같이 120° 간격의 Y자형으로 수중 환경에 배치하며, 각 PLAS의 중심 위치 (x_s, y_s) 는 알고 있다고 가정한다. 또한 각 PLAS의 중심은 정삼각형의 꼭지점에 배치되어 있으며, 각 PLAS는 직선상의 각 소나들의 신호 분석을 통해 표적 방위 정보, 다중 주파수 정보, 분산값을 입력값으로 갖는다고 가정한다. PLAS의 위치가 (x_j, y_j) 인 표적 j 가 존재할 때 방위각 (θ_{sj}) 과 다중 주파수 정보 (f_{sj}) 는 가우시안 잡음 (Gaussian noise)이 첨가된 형태의 관측치를 갖는다.

$$z_{sj} = \theta_{sj} + v_{sj}, \tag{1}$$

$$f_{sj}(k) = f_s(k) + w_{sj}(k) \tag{2}$$

여기서,

$$s = 1, 2, 3; k = 1, 2, \dots, L$$

$$\theta_{sj} = \arctan[(y_j - y_s)/(x_j - x_s)]$$

$$v_{sj} \sim N(0, \sigma_\theta^2), \quad w_{sj}(k) \sim N(0, \sigma_f^2(k))$$

이다. 식 (1), (2)와 같이 측정 방위 z_{sj} 는 PLAS s 에서의 i_s 번째 방위 관측값을, f_{sj} 는 주파수 관측값을 나타낸다. 각 PLAS는 센서 탐지 거리 및 환경에 따라서 미탐지가 발생할 수 있으므로 n_s ($s=1, 2, 3$)개의 방위 정보와 다중 주파수 정보를 갖는다. 다중 주파수 정보는 각각의 표적당 순차적으로 분류된 L 개의 주파수 집합을 형성한다. 관측 잡음은 각 PLAS별로 독립적이라 가정하며 방위 정보의 관측 잡음과 주파수 정보의 관측 잡음도 서로 독립적이라 가정한다.

각 PLAS는 그림 1과 같이 PLAS를 기준으로 180°의 관측값 범위를 갖는다. 그러므로 그림 1에서 관측된 방위값이 θ_{11} 이라면 이 방위각이 좌측 표적에서 발생했는지 우측 표적에서 발생했는지 판단을 할 수가 없다. 본 논문에서는 이와 같은 ghost 관측값을 대칭 방위라 정의한다.

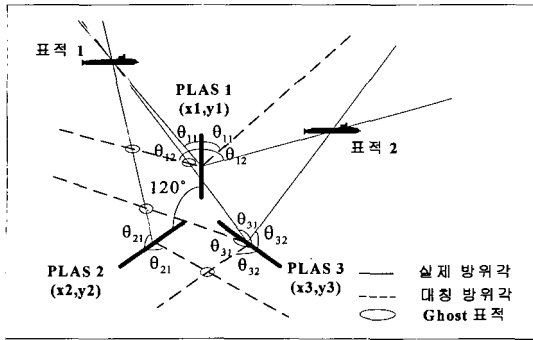


그림 1. 센서 배치도
Fig. 1. Sensors configuration.

또한 PLAS에서 갖는 입력 방위 정보 z_{s_i} 는 각 PLAS 중심 위치의 local 좌표계를 기준으로 생성된다. 그러므로 각 PLAS의 방위 정보를 이용하여 표적의 위치 정보를 생성하기 위해서는 local 좌표계에서 생성된 방위 정보를 공통의 global 좌표계로 변환해 주어야 한다. 즉 관측된 방위 정보에는 실제 표적 방위와 대칭 방위 정보를 동시에 내포하므로 식 (3), (4)와 같은 좌표 변환을 해야 한다.

$$z_{s_i}^{G1} = z_{s_i}^L + \phi_s \quad (3)$$

$$z_{s_i}^{G2} = 2\phi_s - z_{s_i}^{G1} \quad (4)$$

여기서, ϕ_s 는 global 좌표계에서 본 각 PLAS의 회전된 각도, $z_{s_i}^L$ 는 local 좌표계에서의 방위각이다.

III. 3조의 수동 선배열 소나 센서의 정보 연관 기법

PLAS에서 관측치는 식 (5)와 같이 방위 정보와 주파수 정보를 갖고, 동일한 표적에서 발생되었다고 가정된 3-tuple 관측치는 식 (6)과 같다.

$$m_{s_i} = \{z_{s_i}, f_{s_i}(k)\}_{i=0}^{n_s} \quad \forall k=1, \dots, L \quad (5)$$

$$M_{i_1 i_2 i_3} = \{Z_{i_1 i_2 i_3}, F_{i_1 i_2 i_3}\} \quad (6)$$

여기서,

$$Z_{i_1 i_2 i_3} = \{z_{s_i}\}_{s=1}^3$$

$$F_{i_1 i_2 i_3} = \{f_{s_i}(k)\}_{s=1}^3 \quad \forall k=1, \dots, L$$

이다. 동일한 표적에서 발생되었다고 가정한 각 PLAS의

방위 집합을 $Z_{i_1 i_2 i_3}$, 주파수 집합을 $F_{i_1 i_2 i_3}$ 로 표기한다. $i_s=0$ 인 경우는 각 PLAS에서 표적의 미탐지 될 경우의 dummy 관측치를 나타낸다. 각각의 PLAS 1,2,3에서 입력되는 다중 표적 주파수 정보 f_{s_i} 는 L개의 원소나 0개의 원소를 갖는 집합 형태를 갖는다. 즉 dummy 관측값이 아닐 경우 L개의 원소가 존재하며 dummy 관측치일 경우 0개가 존재한다.

3.1. 방위 정보를 적용한 정보 연관 알고리즘

일반적으로 표적 j의 위치 (x_j, y_j) 가 주어졌을 때 $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 의 우도(likelihood) 함수는 식 (7)과 같다. $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 의 우도 함수는 표적의 위치로부터 연관된 방위 정보들이 발생했을 우도 함수값, 각 PLAS에서의 표적 탐지 확률값, 표적 미탐지 확률값의 곱으로 모델링 된다[4].

$$\Lambda(Z_{i_1 i_2 i_3} | x_j, y_j) = \prod_{s=1}^3 [1 - P_{D_s}]^{1-u(i_s)} \times [P_{D_s} p(z_{s_i} | x_j, y_j)]^{u(i_s)} \quad (7)$$

여기서,

$$p(z_{s_i} | x_j, y_j) = N(\theta_{s_j}, \sigma_s^2) \begin{cases} i_s=1,2,\dots,n_s \\ \theta_{s_j} = \text{표적 } j \text{의 방위각} \end{cases}$$

P_{D_s} : 각 PLAS의 탐지 확률

$$u(i_s) = \begin{cases} 0: \text{표적을 탐지하지 못할 경우 } (i_s=0) \\ 1: \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

이다. 그러나 표적의 위치 (x_j, y_j) 는 알려지지 않았기 때문에 표적의 위치 정보는 $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 로부터 얻은 우도 함수를 가장 크게 하는 최대 우도 추정치(Maximum likelihood estimation) (\hat{x}_j, \hat{y}_j) 를 이용해야 한다. 추정된 위치 정보를 이용한 $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 의 우도함수는 식 (9)와 같다.

$$(\hat{x}_j, \hat{y}_j) = \arg \max_{x_j, y_j} \Lambda(Z_{i_1 i_2 i_3} | x_j, y_j) \quad (8)$$

$$\Lambda(Z_{i_1 i_2 i_3} | \hat{x}_j, \hat{y}_j) = \prod_{s=1}^3 [1 - P_{D_s}]^{1-u(i_s)} \times [P_{D_s} N(\hat{\theta}_{s_j}, \sigma_s^2)]^{u(i_s)} \quad (9)$$

여기서,

$$\hat{\theta}_{s_j} = \arctan[(\hat{y}_j - y_s) / (\hat{x}_j - x_s)], \quad s=1,2,3$$

이다. 또한 $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 의 방위 정보들이 모두 허위 표적에서

발생했을 우도함수는

$$A(Z_1 i_2 i_3 | \phi) = \prod_{s=1}^3 \left[\frac{1}{\psi_s} \right]^{u(i_s)} \quad (10)$$

이다. 여기서 ψ_s 는 각 PLAS의 관측 범위이다. 후보 연관 $Z_{i_1 i_2 i_3}$ 의 위험도는 아래와 같이 표적에서 발생할 우도 함수와 거짓 정보에서 발생할 우도 함수간의 음의 log 우도함수의 비로 나타낼 수 있다[4].

$$c_{i_1 i_2 i_3} = - \ln \left(\frac{\Lambda(Z_{i_1 i_2 i_3} | \hat{x}, \hat{y})}{\Lambda(Z_{i_1 i_2 i_3} | \phi)} \right) \quad (11)$$

식 (9)와 (10)을, 식 (11)에 대입하면 위의 수식은 아래와 같이 변환된다.

$$c_{i_1 i_2 i_3} = \sum_{s=1}^3 [\{ u(i_s) - 1 \} \ln(1 - P_{D_s}) - u(i_s) \left\{ \ln \left(\frac{P_{D_s} \psi_s}{|2\pi \sigma_s^2|^{1/2}} \right) - \frac{(z_{s i_s} - \hat{\theta}_{s i_s})^2}{2\sigma_s^2} \right\}] \quad (12)$$

즉, 정보 연관의 문제는 식 (13)과 같이 제한 조건하에서 위험도 함수값을 최소화시키는 3차원 할당 문제로 변환된다. 아래의 제한 조건은 각 PLAS의 관측값은 하나의 표적에서 생성된다는 것을 나타낸다. 즉 연관 절차시 각 PLAS의 관측치는 다중 표적의 할당에 관여할 수 없다. 그러나 미탐지를 나타내는 dummy 관측치는 다중 표적의 할당에 관여할 수 있다. 제한 조건을 만족하는 조건 집합 P는 식 (14)와 같은 선형식의 집합이 된다[4].

$$\min_{\rho_{i_1 i_2 i_3} \in P} \sum_{i_1=0}^{n_1} \sum_{i_2=0}^{n_2} \sum_{i_3=0}^{n_3} c_{i_1 i_2 i_3} \rho_{i_1 i_2 i_3} \quad (13)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \sum_{i_1=0}^{n_1} \sum_{i_2=0}^{n_2} \rho_{i_1 i_2 i_3} &= 1 \quad \text{for all } i_3 = 1, 2, \dots, n_3 \\ \sum_{i_2=0}^{n_2} \sum_{i_1=0}^{n_1} \rho_{i_1 i_2 i_3} &= 1 \quad \text{for all } i_2 = 1, 2, \dots, n_2 \\ \sum_{i_3=0}^{n_3} \sum_{i_1=0}^{n_1} \rho_{i_1 i_2 i_3} &= 1 \quad \text{for all } i_1 = 1, 2, \dots, n_1 \end{aligned} \quad (14)$$

이다. $\rho_{i_1 i_2 i_3}$ 는 2진 사건 변수로 (Binary event variable) 각 PLAS의 관측치가 연관되었다고 가정되었을 때는 1의 값을 그 외에는 0을 값을 갖는다.

3.2. 개선된 정보 연관 알고리즘

본 논문에서는 기존의 방위 정보만을 이용한 기법들[4] 기반으로 주파수 정보를 방위 정보 연관에 적용하는 방법을 제안하였다. 각 PLAS에서 입력되는 주파수 집합의 유사도에 따른 가중치를 주는 방법으로, 유사한 주파수 정보의 개수에 따른 가중치를 방위 정보 위험도에 기해준다.

3.2.1. 집합의 교집합 및 합집합의 개수 찾기

각 집합의 공통 원소는 검색 알고리즘을 이용하여 쉽게 찾을 수 있다. 이것은 일반적인 이분 검색 (Binary search) 알고리즘을 통해서 구할 수 있다. 그러나 각 집합의 주파수 원소들은 가우시안 잡음이 첨가되었기 때문에 검색하려는 대상과 동일한 주파수 원소들을 찾지 못할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 각 집합 원소들간의 동일성 여부를 판별하기 위해서 가설 검증 (Hypothesis testing) 방법을 사용하였다. 즉 식 (15)와 같이 각 주파수 차의 절대값이 통계적으로 99% 신뢰도 구간 안에 들어오게 된다면 공통의 원소로 인정한다.

$$|f_{s_i_s}(i) - f_{k_i_s}(j)| \leq 2.58 \times (\sigma_{f_{s_i_s}(i)} + \sigma_{f_{k_i_s}(j)}) \quad (15)$$

여기서,

$$s \neq k, \quad s = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, 3, \quad i = 1, \dots, L, \quad j = 1, \dots, L$$

이다. 위의 가설 검증을 이용한 개선된 이분 검색의 절차는 아래와 같다. 공통 원소의 존재 유무에 따라 공통 원소 지수는 1 혹은 0의 값을 갖게 되며 공통 원소 지수의 축적된 크기에 따라 집합간의 공통 원소의 개수를 구하게 된다.

Step 1. 구간의 크기 설정

Step 2. while (구간의 크기 > 0)

if (구간의 크기 = 짝수) M = 구간의 크기/2
else M = (구간의 크기+1)/2

Step 3. if $|f_{s_i_s}(i) - f_{k_i_s}(M)| \leq 2.58 \times (\sigma_{f_{s_i_s}(i)} + \sigma_{f_{k_i_s}(M)})$

index = 1 return

Step 4. if $(f_{s_i_s}(i) < f_{k_i_s}(M))$

오른쪽 구간을 선택하여 Step 2로 이동

else 왼쪽구간을 선택하여 Step 2로 이동

Step 5. 구간의 크기가 0 이면 index = 0

후보 연관의 주파수 원소들간의 교집합의 개수를 구하게 된다면 일반적인 집합이론을 통해 합집합의 개수를

유도할 수 있다.

3.2.2. 주파수 합집합을 이용한 가중치 생성하기

유도된 합집합의 개수는 동일 표적으로 가정된 3-tuple 주파수 집합의 가중치 생성에 이용된다. $F_{i_1i_2i_3}$ 집합의 원소인 f_{s_i} 의 개수는 L개 또는 0개이므로 각 PLAS에서 모두 관측치를 갖는 경우($F_{i_1i_2i_3}$ 의 class가 3개일 때) 최대 합집합의 개수는 3L개이며 최소 합집합의 개수는 L개가 된다. 또한 2개의 PLAS에서만 표적을 탐지한 경우($F_{i_1i_2i_3}$ 의 class가 2개일 때)는 최대 합집합의 개수는 2L개이며 최소 합집합의 개수는 L개가 존재한다. 본 논문에서는 아래와 같이 $F_{i_1i_2i_3}$ 의 가중치 크기를 부여하였다.

$$W_{i_1i_2i_3} = \frac{n(f_{1i_1}) + n(f_{2i_2}) + n(f_{3i_3})}{n(f_{1i_1} \cup f_{2i_2} \cup f_{3i_3})} - 1 \quad (16)$$

$F_{i_1i_2i_3}$ 의 원소들간의 유사성이 증가할수록 합집합의 개수는 감소한다. 결국 가중치의 크기는 유사성이 있는 주파수 성분들의 개수가 많아질수록 증가하게 된다. 가중치의 크기는 $F_{i_1i_2i_3}$ 의 원소 개수에 따라 식 (17), (18)의 크기를 갖게 된다.

$$F_{i_1i_2i_3} \text{의 class가 3개일 경우: } 0 \leq W_{i_1i_2i_3} \leq 2 \quad (17)$$

$$F_{i_1i_2i_3} \text{의 class가 2개일 경우: } 0 \leq W_{i_1i_2i_3} \leq 1 \quad (18)$$

전체 위험도는 식 (19)와 같이 방위 정보의 위험도에 주파수 가중치를 가한 형태를 갖게 된다.

$$T_{i_1i_2i_3} = W_{i_1i_2i_3} \times C_{i_1i_2i_3} \quad (19)$$

여기서,

$W_{i_1i_2i_3}$: 주파수 가중치

$C_{i_1i_2i_3}$: 방위 연관 위험도

이다.

3.3. 대칭 방위 문제

그림 1과 같이 임시 연관 후보의 방위 정보들은 실제 방위와 가상적인 대칭 방위가 존재하며 이 두 정보 중 하나는 거짓 정보이다. 이러한 가상 방위 정보를 해결하기 위한 방안으로 아래와 같은 위험도 생성 방법을 제안하였다.

Step 1. 관측 방위 정보들의 3-tuple 집합 생성

Step 2. 3-tuple 집합을 global 좌표계로 변환

- 식 (3), (4)를 이용하여 global 좌표계에서 실제 방위와 대칭 방위 정보 생성

Step 3. 변환된 방위들을 이용한 조합들 중에서 식 (19)의 cost가 가장 작은 조합을 3-tuple의 위험도로 선택

즉, 후보 연관 내에서 모든 PLAS에서 표적을 관측하였다면 실제 방위와 대칭 방위의 조합의 수는 8개가 생성되며, 이 조합 중에서 위험도 값이 가장 작은 조합을 선택하는 것이다. 선택된 조합의 방위각 및 위험도는 후보 연관의 방위 조합 및 위험도를 나타낸다. 그러나 위의 제안된 방법에서 2개의 PLAS에서만 표적을 탐지하는 경우 ghost 문제가 발생할 수 있다. 즉 방위선 교점들간의 위험도가 동일해지는 ghost 문제가 발생된다. 본 논문에서는 PLAS의 기하학적인 배치에 따라 이러한 ghost 문제 발생 영역을 예측하였다. 그림 2는 2개의 PLAS에서 관측될 경우 (PLAS 1에서 미탐지 발생) 실험을 통해 ghost 문제가 발생하는 영역을 도식화 한 것이다. 영역 1은 위험도의 최소값이 1개가 발생하는 지역, 영역 2는 최소값이 2개가 발생하는 지역, 영역 4는 최소값이 4개가 발생하는 지역이다. 즉 ghost 문제는 영역 2와 4에서 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 2의 ghost 문제 발생 지역은 아래의 부등식 (20) ~ (22)와 같이 PLAS 관측값의 범위에 따라 ghost 문제의 발생 여부를 1차적으로 판단할 수 있다. 각 PLAS의 중심이 정삼각형을 이루고 있으므로 PLAS 2 혹은 PLAS 3에서 미탐지가 발생한 경우에도 아래의 부등식은 만족된다.

$$240^\circ < z_{qi_e} + z_{ri_r} < 360^\circ \quad (20)$$

$$\begin{aligned} z_{qi_e} < 150^\circ, \quad z_{qi_e} + z_{ri_r} > 300^\circ \\ z_{ri_r} < 150^\circ, \quad z_{qi_e} + z_{ri_r} > 300^\circ \end{aligned} \quad (21)$$

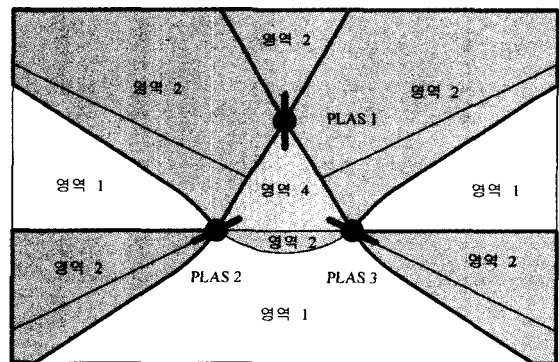


그림 2. ghost 발생 지역 (PLAS 1 미탐지일때)
Fig. 2. For PLAS1 misdetection case, ghost appearance region.

$$\begin{aligned} z_{qi} < 150^\circ, \quad z_{qi} - z_{ri} > 120^\circ \\ z_{ri} < 150^\circ, \quad z_{qi} - z_{ri} < -120^\circ \end{aligned} \quad (22)$$

여기서 q와 r은 탐지된 센서의 번호를 말하며, 그 순서는 시계 방향을 따른다. 또한 i_q 와 i_r 은 q번째 PLAS와 r번째 PLAS의 관측치 인덱스이다. PLAS 1에서 미탐지가 발생한 경우 $q=3, r=2$ 의 값을 갖게 된다.

IV. 실험 및 결과 고찰

본 장에서는 다양한 모의 실험을 통하여 제안한 정보 연관 성능을 분석하였다. 각 실험에서 PLAS 1은 [10000, 2000]m, PLAS 2는 [8268, -1000]m, PLAS 3은 [11732, -1000]m 에 배치하였다. 방위 잡음의 표준 편차는 0.3, 0.5, 1도, 주파수 정보의 표준 편차는 2 Hz를 주었다.

4.1. 주파수 사용 여부에 따른 연관 성능

본 실험에서는 주파수 사용 여부가 연관 성능에 미치는 영향을 알아보려고 한다. 모의 실험에서 사용되는 시나리오는 그림 3과 같다. 점선으로 이루어진 원의 궤적은

각 PLAS가 관측 가능한 영역을 나타낸다. 표적 1, 2, 4는 8knot, 표적 3은 4knot의 속도로 등속 운동을 하고 있다. 세부적인 표적의 특성은 표 1과 같다.

표 2는 주파수 정보 사용 여부에 따른 연관 성능 결과를 보여 준다. 주파수 정보를 사용한 연관 후보들의 위험도 값은 식 (19)가 된다. 그러나 주파수 정보를 사용하지 않을 경우 연관 후보들의 위험도는 방위 위험도 값만으로 구성된다. 표 2의 결과에서 나타나듯이 주파수 정보를 사용함으로써 각 표적별로 연관 성능이 향상되었다. 이것은 주파수 정보에 따른 가중치로 인해서 ghost 표적들의 대한 위험도는 증가되며 동일 표적에서 발생했을 위험도는 저하가 되기 때문이다.

4.2. 대칭 방위 여부에 따른 연관 성능

본 실험에서는 1개의 PLAS가 표적을 탐지 못하였을 경우 연관 성능에 미치는 영향을 알아본다. 즉, 1개의 PLAS가 표적을 탐지하지 못하였을 경우 표적의 위치에 따라 대칭 방위 문제가 발생할 수 있다. 각 시나리오에서는 PLAS1의 관측 범위 밖에 표적이 존재함으로써 미탐지가 발생된다고 가정할 후 대칭 방위 문제의 발생 여부에 따른 연관 성능 결과를 알아본다. 각 시나리오의 표적의 이

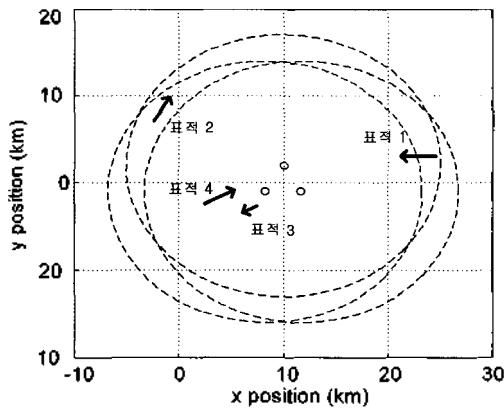


그림 3. 시나리오 1
Fig. 3. Scenario 1.

표 1. 시나리오 1의 표적 특성
Table 1. Target characteristic of scenario 1.

구분	표적 특성
표적 1	등속 운동, 각 표적간 3개의 주파수 겹침 PLAS 1에서 미탐지 발생
표적 2	등속 운동, 각 표적간 3개의 주파수 겹침 PLAS 3에서 미탐지 발생
표적 3	등속 운동, 각 표적간 3개의 주파수 겹침 (표적 4와는 6개)
표적 4	등속 운동, 각 표적간 3개의 주파수 겹침 (표적 3과는 6개)

표 2. 시나리오 1의 연관 결과
Table 2. Association result of scenario 1. (단위: %)

구분 방위 오차 표적별	주파수 사용			주파수 미사용		
	0.3	0.5	1	0.3	0.5	1
표적 1	100	100	100	99.31	99.07	98.57
표적 2	100	100	100	100	100	100
표적 3	100	100	100	99.07	98.76	97.49
표적 4	100	100	100	98.94	98.54	96.91

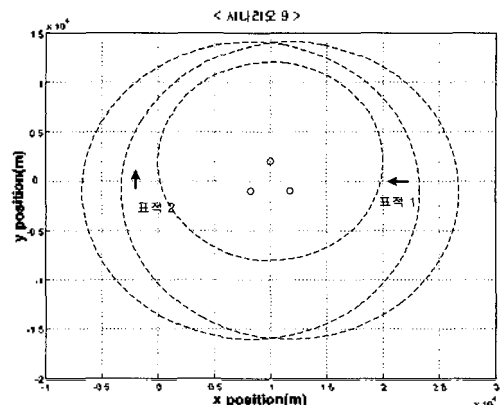


그림 4. 시나리오 2
Fig. 4. Scenario 2.

동 경로는 그림 4와 같으며, 세부 특성은 표 3과 같다. 또한 시나리오 2에서 표적 속도는 4knot, 시나리오 3, 4에서의 표적 속도는 8knot로 설정하였으며, 방위 잡음의 표준편차는 1도, 주파수는 2 Hz를 주었다.

아래의 표 4는 시나리오 2의 연관 결과이다. 시나리오 2에서 PLAS 1의 미탐지로 인해 표적에 대한 정보는 PLAS 2, 3에서만 관측된다. 그러나 표적의 이동 위치가 대칭 방위 발생 지역 외에 존재하므로 모든 PLAS가 탐지되었을 경우의 연관 성능과 유사한 경향을 보인다. 표 5는 위의 시나리오 2와는 다르게 표적이 대칭 방위 발생 지역에서 이동하는 표적의 연관 성능 결과이다. 대칭 방위 문제로 인해 위험도가 동일해지는 지점이 발생하며 이것으로 인해 오연관의 확률이 높아지는 경향을 보이고 있다. 표 6은 표적이 대칭 방위 발생 영역에서 발생 후 대칭 방위 영역을 벗어날 경우의 연관 성능 결과이다. 이것은 표 5와 비교해서 보면 대칭 방위 영역에서 벗어나는 경우의 연관 성능 결과가 더욱더 향상되는 모습을 보여주고 있다. 이

표 3. 각 시나리오의 특성

Table 3. Characteristic of scenarios.

구분	표적 특성
시나리오 2	- 모든 표적이 대칭 방위 문제 미발생 지역에서 이동
시나리오 3	- 표적 1은 대칭 방위 문제 발생 지역에 존재 - 표적 2는 대칭 방위 문제 발생 지역에서 미발생 지역으로 이동
시나리오 4	- 표적 1은 PLAS 1의 관측 범위 밖에서 관측 범위 내로 이동 - 표적 2는 대칭 방위 문제 발생 지역에서 미발생 지역으로 이동

표 4. 시나리오 2의 연관 결과

Table 4. Association result of scenario 2. (단위: %)

구분	모든 PLAS가 표적 탐지		PLAS 1에서 표적 미탐지	
	표적 1	표적 2	표적 1	표적 2
연관 성능	99.98	99.93	99.87	97.34

표 5. 시나리오 3의 연관 결과

Table 5. Association result of scenario 3. (단위: %)

구분	모든 PLAS가 표적 탐지		PLAS 1에서 표적 미탐지	
	표적 1	표적 2	표적 1	표적 2
연관 성능	99.83	99.72	94.43	85.52

표 6. 시나리오 4의 연관 결과

Table 6. Association result of scenario 4. (단위: %)

구분	모든 PLAS가 표적 탐지		PLAS 1에서 표적 미탐지	
	표적 1	표적 2	표적 1	표적 2
연관 성능	99.86	99.62	96.92	87.61

리한 연관 성능의 향상 요인은 PLAS 1의 탐지 영역 밖의 경우 PLAS 1의 정보가 제공되지 않음으로써 발생되었던 대칭 방위 문제가 PLAS 1의 표적 탐지로 인해 해결되는 것으로 판단된다.

4.3. 표적별 개수에 따른 연관 성능

본 실험에서는 표적의 개수의 증가가 연관 성능에 미치는 영향을 알아본다. 앞의 실험에서는 표적 2개가 감지 영역 안에 존재한다고 가정하였으나 본 실험에서는 표적의 개수가 3, 4, 5개로 증가하였을 경우, 연관 성능이 어떻게 변하는지 알아본다. 그림 5는 표적의 이동 경로를 보여주며, 각 시나리오의 표적 특성은 표 7과 같다. 모든 표적은 모든 PLAS에서 탐지가 되었다고 가정하였으며 방위 잡음의 표준편차는 1도, 주파수는 2 Hz를 주었다. 또한 모든 시나리오의 표적 속도는 8knot로 설정하였다.

아래의 표 8을 보면 표적의 증가로 인해 정보 연관 성능은 저하되는 경향을 보이고 있다. 이것은 표적의 증가로

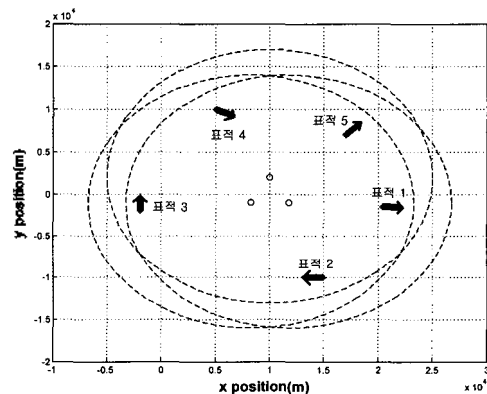


그림 5. 시나리오 5

Fig. 5. Scenario 5.

표 7. 시나리오 5의 표적 특성

Table 7. Target characteristic of scenario 5.

구분	표적 특성
표적 1	대칭 방위 문제 영역 안에 존재
표적 2	PLAS 1에서 미탐지가 발생하나 대칭 방위 미발생 영역 안에 표적 존재
표적 3	PLAS 1에서 미탐지 발생하며 대칭 방위 발생 영역에서 미발생 영역으로 이동
표적 4	모든 PLAS에서 탐지. 대칭 방위 문제 미발생
표적 5	대칭 방위 발생 영역에서 미발생 영역으로 표적 이동

표 8. 시나리오 5의 연관 결과

Table 8. Association result of scenario 5. (단위: %)

구분	3	4	5
연관 성능	99.96	97.72	95.8

인해 방위들 간의 교점 및 ghost 표적이 증가되며 실제 표적의 방위 교점보다 위험도가 작거나 같은 ghost 표적이 증가함으로써 나타나는 현상으로 판단된다. 그러나 주파수 가중치를 이용함으로써 연관 성능의 저하가 심하게 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 3조의 PLAS의 정보 연관 방법에 대해서 분석하였다. 기존의 방위 정보만을 이용할 경우 방위 관측 잡음이 증가할수록 연관 성능은 떨어지는 경향을 보였다. 그러나 제안한 방법의 경우 주파수 정보의 유사성을 기반으로 한 가중치로 인해 후보 연관들의 위험도 값을 방위 잡음에 강인하게 하였다. 또한 PLAS에서 가장 문제가 되는 대칭 불구분 문제는 각 3-tuple의 위험도 값을 생성 시 실제 방위와 대칭 방위 정보간의 위험도 값을 비교하여 접근하였다. 그러나 표적을 탐지한 PLAS의 개수 및 특정 관측 범위에 따라 ghost 문제가 발생하였다. 이러한 문제가 발생한 경우 정적인 정보 연관 (Static data association) 방법을 통해서 정밀한 정보 연관 성능을 보장하지 못하는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, *Multitarget Multisensor tracking: Principles and Techniques*, YBS Press, 1995.
2. Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann, *Tracking and Data Association*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida, 1988.
3. S. S. Blackman and P. Robert, *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, Norwood, MA: Artech, 1999
4. K. R. Pattipati, S. Deb, Y. Bar-Shalom and R. B. Washburn, "A new relaxation algorithm and passive sensor data association," *IEEE Trans. on Automatic Control*, 37 (2), Feb, 1992,
5. S. Deb, K. R. Pattipati and Y. Bar-Shalom, "A multisensor-multitarget data association algorithm for heterogeneous sensors," *IEEE Trans. on AES*, 29 (2), Apr, 1993.
6. S. Deb, M. Yeddanapudi, K. R. Pattipati and Y. Bar-Shalom, "A generalized S-D assignment algorithm for multisensor-multitarget state estimation," *IEEE Trans. on AES*, 33 (2), Apr, 1997.

저자 약력

● 구 본 화 (Bon-Hwa Ku)



2000년 2월: 광운대학교 제어계측 공학과 (공학사)
 2002년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 고려대학교 영상정보 처리학과 박사과정
 * 주관심분야: 신호처리, 표적 신호 탐지/추적

● 윤 제 한 (Je-Han Yoon)



1998년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사과정
 * 주관심분야: 표적 탐지/추적, 영상 처리

● 홍 우 영 (Woo-Young Hong)



1982년 3월: 해군사관학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 10월: Univ. of Minnesota Electrical Engineering (공학박사)
 1995년 3월~현재: 해군사관학교 정보통신공학과 교수
 1997년 12월~2001년 1월: 미국 해군사관학교 교원 교수
 2001년 2월~2001년 12월: 국방과학연구소 위축연구원
 * 주관심분야: 신호 처리, 표적 신호 탐지/추적

● 고 한 석 (Hanseok Ko)



1982년 5월: Carnegie-Mellon Univ, Electrical Engineering (공학사)
 1985년 5월: Univ. of Maryland System Engineering (공학석사)
 1988년 5월: Johns Hopkins Univ, Electrical Engineering (공학석사)
 1992년 5월: Catholic Univ. of America Electrical Engineering (공학박사)
 1983년 9월~1995년 2월: White Oak 연구소 Principal Engineer
 1992년 9월~1995년 2월: Univ. of Maryland Part-time Asst. Professor
 1995년 3월~현재: 고려대학교 전자컴퓨터공학과 교수
 * 주관심분야: 음성 신호 처리, 이미지 데이터 융합, 표적 신호 탐지/추적