

수중 음향 표적 식별 시스템에서의 Decision Fusion

윤기범, 김남훈, 고한석

고려대학교 전자공학과

Decision Fusion for Target Identification System

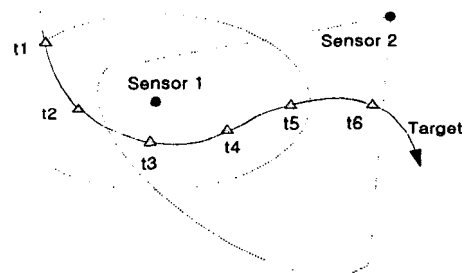
Gi-Bum Yoon, Nam-Hoon Kim, Hanseok Ko

Dept. of Electronics Engineering, Korea University
{gbyoon, nhkim}@ispl.korea.ac.kr, hsko@korea.ac.kr

요약

본 논문에서는 각 지역의 수중 음향 센서로부터 중앙의 정보 융합 센터로 전송되어진 동일한 또는 상이한 표적의 Identity 정보들을 종합해 최종적으로 표적의 Identity를 결정하는 Decision Fusion 기법을 다룬다. 기존의 연구는 표적의 속성 정보로부터 정보 융합을 통해 표적의 Identity를 선택하는 기법을 주로 다루고 있다. 그러나 본 논문에서는 기존의 연구보다 한단계 나아가 선택된 표적의 Identity들로부터 운용자가 가장 합리적인 결정을 내릴 수 있도록 하는 표적의 Identity 결정을 위한 Decision Fusion 기법을 제안한다. 이러한 수중 음향 표적 식별 시스템에서의 Identity Decision Fusion 기법으로 Voting 기법, 센서 정보의 신뢰도를 고려한 Weighted Voting 기법, 그리고 다 기준 의사 결정 기법인 Analytic Hierarchy Process (AHP) 기법을 제안하고 그 성능을 평가한다.

또한, 센서 1이 매 시각 표적이 A다 라는 정보를 전송하다가 갑자기 표적이 B다 라는 정보를 전송한다든지 아니면 일정 시간동안 표적의 Identity 정보를 전송하지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 이러한 문제에 직면할 경우, 어떻게 다양한 센서로부터 전송되어진 표적 식별 정보로부터 표적의 Identity를 결정해야 하는가가 중요한 문제가 되는 것이다. 이러한 임의의 상황을 그림 1에 나타내었다.



1. 서론

다양한 센서의 입력 정보를 융합해 표적의 Identity를 결정하는 시스템에 있어, 기존의 융합 기법들은 하나의 결론을 도출해 낸다. 즉, 표적이 A이다, B이다, 또는 C이다 등의 식별을 가능하게 한다. 그러나 정보 융합 기법의 실제 적용에 있어서는 표적의 식별 선언과 더불어 한가지 더 고려해야 할 사항이 있다. 즉, 실제의 관측 시스템에 있어서는 표적의 Identity 결정은 지역 정보 융합 시스템 또는 센서에서 이루어지고, 각 시스템 또는 센서에서 결정된 표적의 Identity 정보가 중앙의 융합 센터로 전송되어진다는 것이다. 따라서 중앙의 정보 융합 센터에서는 매 시각 등록되어지는 표적의 속성 정보로부터 표적의 Identity를 다시 결정해야 할 필요가 생긴다. 예를 들어, 같은 시각에 센서 1은 '표적이 A이다' 라는 정보를 전송하고, 센서 2는 '표적이 B이다' 라는 정보를 전송하는 경우, 중앙의 정보 융합 센터에서는 표적이 A인지 B인지 구분을 못하게 된다.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Sensor 1	A	B	B	B	A	•
Sensor 2	•	•	A	A	B	B
Decision	A	B	A?B	A?B	A?B	B

그림 1. 감시 시스템에서의 센서 전송 정보 예

본 논문에서는 다중 센서의 입력 정보를 이용한 최종적인 표적의 Identity 결정을 위한 방법으로 Voting 기법, Weighted Voting 기법 그리고 다 기준 의사 결정 기법인 Analytic Hierarchy Process (AHP) 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성된다. 다음의 2장에서는 본 논문에서 제안하는 Decision Fusion 기법들 중 Voting 기법과 Weighted 기법을 설명하고, 3장에서는 AHP 기법을 소개한다. 그리고 4장에서는 이러한 Decision Fusion 기법들을 임의의 가상 시나리오에 적용한 실험 결과 및 각 기법의 성능에 대해 논한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺겠다.

II. Voting 기법과 Weighted Voting 기법

2.1 Voting 기법

다중 센서로부터 전송되어진 표적의 Identity 정보를 이용하여 최종적으로 표적의 Identity를 선언하는 가장 간단한 방법이 Voting 기법이다. 각 센서의 입력 정보가 하나의 Vote가 되고 다수의 원칙에 의해 표적의 Identity가 선언되어지는 것이다. 다중 센서의 입력 정보로부터 각 센서가 표적의 Identity를 선언하게 되고 이러한 정보를 이용, Voting 기법을 통한 표적의 Identity를 판단하게 되는 과정을 그림 2에 나타내었다.

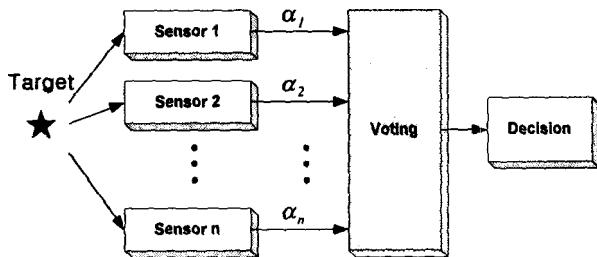


그림 2. Voting 기법

그림에서 $\alpha_i (i=1,2,\dots,n)$ 는 다중 센서들의 표적의 Identity 선언을 나타낸다. 이러한 Voting 기법을 이용한 표적의 Identity 결정 과정은 크게 두 단계로 나타낼 수 있으며 이는 다음과 같다.

단계 1: 표적 Identity에 대한 Vote를 계산한다.

$$\beta_{i_{\text{target}}} = \sum_{\alpha_i \text{ target}} 1 \quad (1)$$

단계 2: 각 Identity 별 계산된 Vote 중 최대의 $\beta_{i_{\text{target}}}$ 값을 갖는 Identity를 현재의 다중 센서에 의해 관측되어진 표적의 Identity로 선언한다.

각 표적의 Identity에 대한 다중 센서의 Voting은 단계 1에서 계산되어진다. 여기서 $T(1,2,\dots,M)$ 는 $M-1$ 가지의 표적의 종류와 미확인 표적(Unknown Target)을 나타낸다.

2.2 Weighted Voting 기법

기존의 표적 추적 관련 연구는 표적 탐지 확률 및 오차 확률을 관측 영역 내에서 특정한 상수로 정의해 연구를 수행했다. 그러나 실제 센서의 감도는 표적과의 거리, 방향, 지형, 기후 등을 인자로 갖는 함수로 나타내어질 수 있다[1][2]. 따라서 이러한 센서의 감도를 센서 정보의 신뢰도로 모델링 해 표적의 Identity 결정을

위한 판단 요소의 하나로 고려해야 한다. 따라서 센서의 입력 정보가 센서의 특성, 지형지물의 영향, 대기 및 기후의 변화와 같은 요소들로 인해 센서와 표적 간의 거리 및 표적의 방위에 따라 신뢰도가 달라진다는 점을 고려한 표적의 식별 시스템을 설계하였다(그림 3).

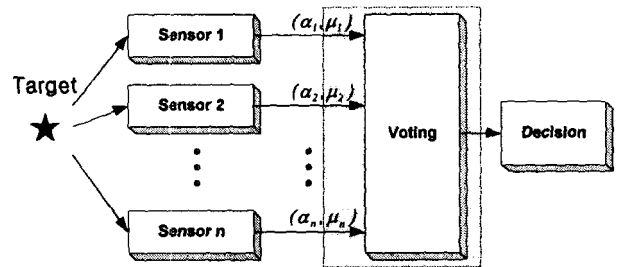


그림 3. Weighted Voting 기법

Weighted Voting 기법은 크게 두 단계로 나누어 지는데 이는 다음과 같다.

단계 1: 각 표적 Identity에 대한 가중치가 적용된 Vote를 구한다.

$$\beta'_{i_{\text{target}}} = \frac{1}{\beta_{i_{\text{target}}}} \sum_{\alpha_i \text{ target}} \mu_j \quad (2)$$

단계 2: 각 표적의 Identity 중 가장 큰 $\beta'_{i_{\text{target}}}$ 값을 갖는 표적의 Identity로 표적을 판단한다.

III. Analytic Hierarchy Process (AHP) 기법

3.1 AHP

AHP는 상충되거나 여러 가지 대안 혹은 목적이 존재하는 판단 결정 문제에 주로 사용되는 기법으로 Thomas L. Saaty에 의해 개발되었다. 이 기법은 계층화를 통해 판단 결정 단계를 세분화하고 각 단계별로 판단 요소들의 중요도를 산출하여 최종적으로 대안을 선택하게 된다. 특히 AHP는 공통의 목적 혹은 기준에 대하여 대상들을 짝을 지워서 비교함으로써 판단 결정 문제를 해결한다. AHP의 원리는 다음의 네 가지로 설명될 수 있다[3].

가. 대안의 집합인 A에서 주어진 2개의 대안 i 와 j 에서 판단 결정자는 기준들의 집합인 C에서 추출된 어떤 기준으로 상호 역수인 비율 최대로 대안 i 와 j 에 대해 쌍 비교 (Pairwise Comparison) a_{ij} 를 구할 수 있다.

나. 어떤 두개의 대안 $(i, j \in A)$ 을 비교할 때, 어떤 대안이 다른 대안보다 어떤 기준 아래에서 무

- 한하게 좋다고 판단하지 않는다.
- 다. 판단 결정 문제는 계층으로 형성할 수 있다.
- 라. 주어진 판단 결정 문제에 영향을 미치는 모든 기준과 대안은 계층으로 표현할 수 있다.

위에서 언급한 네 가지 원리는 AHP가 판단 결정 문제를 계층적으로 형성해 해결하며, 쌍 비교의 형태로 판단을 이끌어 낸다는 것을 설명한다. 이러한 AHP의 기본 개념을 그림 4에 나타내었다.

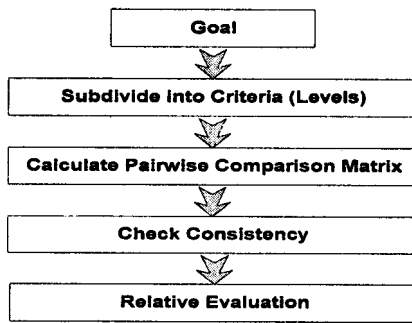


그림 4. AHP 기법의 기본 개념

3.2 표적 식별 시스템으로의 적용

표적의 Identity 결정을 위해 AHP 기법을 적용하기 위해서 문제의 최종적인 목표는 표적의 Identity로 설정한다. 그리고 표적의 Identity를 판단하기 위한 평가 항목으로는 Weighted Voting 기법에서 언급한 센서 입력 정보의 신뢰도라든지 센서가 오동작 했을 시의 위험도 등 다양한 항목을 선정할 수 있다. 최상위 단계에서는 표적의 Identity를 두 번째 단계에서는 표적의 Identity를 판단하기 위한 평가 항목들을 그리고 마지막 세 번째 단계에서는 대안으로써 분별 가능한 표적의 Identity들을 위치 시킨다. 표적의 Identity 결정을 위한 평가 항목이 고려되는 두 번째 단계에서 N개의 평가 요소를 그리고 대안으로써 분별 가능한 표적을 모두 k-1가지들 고려하고 k번째 표적은 Identity가 알려지지 않은 미확인 표적(Unknown Target)으로 설정한 계층 구조를 나타내면 그림 5와 같다.

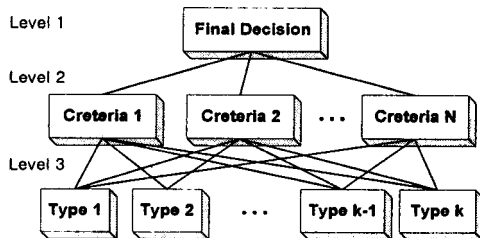


그림 5. 표적 Identity 판단 결정을 위한 계층 구조

최종적인 표적의 Identity 결정을 위해서는 각 평가 항목에 대한 표적 Identity들 간의 쌍 비교 행렬(3단계)과 각 평가 항목들 간의 쌍 비교 행렬(2단계)이 필요하

다. 이는 평가 항목의 특성에 따라 다르겠지만 일반적으로 센서 입력 정보 또는 외부 입력 정보들로부터 구해질 수 있는 것들이다. 3단계에서의 전체 N개의 평가 항목 중 i번째 평가 항목에 대한 k개의 분별 가능한 표적의 Identity 쌍 비교 행렬 A_i 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$A_i = \begin{matrix} & \begin{matrix} Type 1 & Type 2 & \dots & Type k \end{matrix} \\ \begin{matrix} Type 1 \\ Type 2 \\ \vdots \\ Type k \end{matrix} & \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1k} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{k1} & a'_{k2} & \dots & a'_{kk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

여기서 a'_{jk} 는 i번째 평가 항목에 대한 표적 Type j 가 표적 Type k에 대해 갖는 상대적인 중요도를 나타낸다. 최하위 단계에서는 N개의 평가 항목에 대한 각 표적 Identity 간의 쌍 비교 행렬 A_i 로부터 고유벡터 w_i 를 구해 가중치 행렬 W_i 을 구하고, 2단계에서는 각 평가 항목간의 우선 순위를 비교한 쌍 비교 행렬 B로부터 고유벡터 w_2 를 구해 전체적인 가중치를 계산하면 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$W_i = W_1 \cdot W_2 = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_k]^T \quad (4)$$

식 (4)에서 최대의 값을 갖는 원소에 해당하는 표적의 Identity가 다중 센서로부터 전송되어진 표적의 Identity를 종합한 최종적인 결과가 된다.

IV. 실험 및 고찰

4.1 실험 시나리오

해안 또는 지상 감시 시스템에서 얻어지는 표적의 Identity를 A,B,C,D 그리고 미확인 표적 X (Unknown Target)의 다섯 가지로 설정하고 센서 정보의 신뢰도 계산을 위한 거리, 방향, 기후 및 지형의 영향을 고려한 신뢰도 함수를 임의로 가정하였다(그림 6).

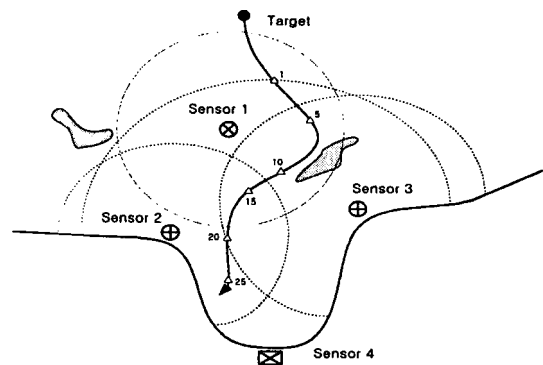


그림 6. 실험에 사용된 시나리오

각 센서에서의 정보 융합 센터로의 정보 전송 시간은 동기화 되어있다고 가정하고 각 센서별 표적에 대한 추적력이 이루어지고 있다고 가정한다. 일정 시간 구간 안에서 25차례 각 센서로부터 표적의 Identity 정보가 정보 융합 센터로 전송되어진다고 가정한 각 센서의 시각별 전송 정보와 신뢰도를 표 1에 나타내었다.

	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4	
	ID	C	ID	C	ID	C	ID	C
1	D	0.8	.	.	.	.	D	0.6
2	D	0.8	.	.	.	.	D	0.6
3	D	0.8	.	.	.	.	X	0.7
4	.	.	.	.	X	0.3	D	0.6
5	C	0.6	.	.	X	0.3	D	0.4
6	C	0.6	.	.	X	0.3	C	0.4
7	C	0.6	.	.	D	0.2	C	0.4
8	X	0.5	.	.	D	0.2	B	0.4
9	D	0.5	.	.	C	0.3	B	0.4
10	X	0.5	.	.	C	0.3	B	0.4
11	D	0.6	.	.	C	0.4	A	0.4
12	C	0.6	.	.	D	0.5	A	0.5
13	D	0.6	B	0.4	D	0.5	D	0.5
14	D	0.5	B	0.4	D	0.6	B	0.6
15	D	0.5	C	0.5	C	0.6	C	0.6
16	D	0.6	D	0.6	C	0.5	C	0.6
17	C	0.4	D	0.7	C	0.5	D	0.7
18	C	0.4	D	0.8	D	0.5	D	0.8
19	B	0.4	A	0.9	D	0.5	D	0.8
20	.	.	D	0.9	D	0.4	D	0.9
21	.	.	D	0.8	C	0.4	C	0.9
22	.	.	D	0.8	.	.	D	0.8
23	.	.	.	.	.	.	A	0.8
24	.	.	C	0.7	.	.	X	0.7
25	.	.	C	0.6	.	.	D	0.7

표 1. 센서 입력 ID 및 신뢰도(C) 정보

4.2 실험 및 고찰

실험을 위해 가정한 임의의 시나리오에 Voting 기법, Weighted Voting 기법, AHP 기법을 각각 적용하였다. AHP 기법의 적용에 있어서는 두 가지 경우를 고려하였다. 즉, Case 1의 경우는 평가 항목간의 쌍 비교 행렬을 계산함에 있어 센서 정보의 신뢰도보다 표적 오판시의 위험도에 우선 순위를, 그리고 Case 2의 경우에는 그 반대의 경우를 고려하였다(표 2).

	Risk	Conf.
Risk	1	5
Conf.	1/5	1

(Case 1)

	Risk	Conf.
Risk	1	1/5
Conf.	5	1

(Case 2)

표 2. 실험에 사용된 두 가지 쌍 비교 행렬

각 Decision Fusion 기법을 적용한 결과를 표 3에 보였다. 결과에서 알 수 있듯이 Voting 기법의 경우에는 상충되는 센서 입력 정보에 대해 표적을 식별하는 능력이 Weighted Voting 기법에 비해 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 AHP 기법의 경우 신뢰도에 우선 순위를 두었을 때, 그 결과가 Weighted Voting 기법의 결과와 비슷함을 알 수 있다.

	Voting	Weighted Voting	AHP	
			Case 1	Case 2
1	D	D	D	D
2	D	D	D	D
3	X	D	X	X
4	X	D	X	D
5	X	C	X	C
6	C	C	X	C
7	C	C	D	C
8	X	X	X	X
9	X	D	D	D
10	X	X	X	X
11	X	D	D	D
12	X	C	D	C
13	D	D	D	D
14	X	D	D	D
15	C	C	D	C
16	X	D	D	D
17	X	D	D	D
18	D	D	D	D
19	D	A	D	A
20	D	D	D	D
21	C	D	D	D
22	D	D	D	D
23	A	A	X	A
24	X	X	D	X
25	D	D	D	D

표 3. 각 기법별 표적 식별 결과

V. 결론

기존의 연구들이 표적의 각 속성들에 근거한 표적 식별에 집중되어 있는 반면, 본 논문에서는 센서에서 표적 식별이 이루어진 다음 단계의 상위 시스템에서 각 표적 식별 판단들을 종합한 최종적인 표적 식별이라는 문제를 다루었다. 무엇보다도 센서 정보의 신뢰도라는 새로운 판단 요소를 고려하였다. 즉, 센서의 동작 특성이 거리, 방위, 기후, 지형에 따라 차이를 나타낸다는 것에 착안해 이러한 센서의 특성을 센서 정보의 신뢰도라는 하나의 척도로 나타내었다. Voting 기법에서 Weighted Voting 기법으로, 그리고 다시 AHP 기법으로 Decision Fusion 기법을 확장해 보다 다양한 판단 기준을 도입할 수 있도록 고려하였다.

Acknowledgment

본 연구는 수중음향 특화센터에서 지원한 다중 수상/수중 센서 입력정보 융합기법 연구의 일환으로 수행된 것임.

참고문헌

- [1] Blake, L. V., Radar/Radio Tropospheric Absorption and Noise Temperature, Naval Research Laboratory Report 7461, Oct. 30, 1972.
- [2] Flock, Warren L., "Propagation Effects on Satellite Systems at Frequencies Below 10 GHz," NASA Reference Publication 1108, 1983.
- [3] Thomas L. Saaty, "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," European Journal of Operational Research, Vol. 48, p.13, 1990.