다기능 레이더의 추적 성능 개선을 위한 퍼지 추론 시스템 기반 임무 우선 순위 선정 기법 연구

A Study of Fuzzy Inference System Based Task Prioritizations for the Improvement of Tracking Performance in Multi-Function Radar

김현주 · 박준영 · 김동환* · 김선주*

Hyun-Ju Kim · Jun-Young Park · Dong-Hwan Kim* · Seon-Joo Kim*

요 약

본 논문에서는 다기능 레이더의 추적 성능 개선을 위해 임무 우선 순위 선정을 위한 퍼지 추론 시스템 기반의 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 추적 임무 수행 시 우선 순위 결정 트리를 구성하고, 퍼지 집합으로 추적 안정도, 위협도, 접근성을 선정하고, 퍼지 규칙을 통한 추적 임무의 우선 순위를 얻는 방식이다. 우선 순위를 높게 책정할 경우, 추적 주기를 변화시켜 추적의 정확도를 높일 수 있도록 설계하였다. 추적 성능 개선 효과를 입증하기 위해 기동 특성이 뚜렷한 표적 궤적을 생성하고, 제안된 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 시뮬레이션으로 비교 분석하였다.

Abstract

This paper presents the improvement of tracking performance using fuzzy inference system based task prioritizations for multi-function radars. The presented technique calculates elemental priorities using track information of a target and obtain the total priority from fuzzy inference system of each fuzzy set's membership function. In this paper, we proposed the task prioritization algorithms based on fuzzy inference system, and evaluated the tracking performance on multi-function radar scenario using it. As a result, we confirmed that excellent performance could be achieved when using the proposed algorithm.

Key words : Fuzzy Inference System(FIS), Multi-Function Radar, Tracking Performance, Task Prioritization

I. 서 론

다기능 레이더(MFR: Multi-Function Radar)는 이전에 각각의 레이더에서 수행되던 영역 탐색, 탐지, 추적 등의 기능을 한 개의 레이더에서 임무에 따라 수행하는 레이더이다. 표적 탐지로부터 추적까지를 실시간으로 처리하기 위해서는 빔 조향이 용이한 위상

배열 안테나 기술과 다양한 실시간 레이더 신호 처리 기술과 더불어, 레이더의 한정된 자원을 효과적으로 활용하여 레이더 전체 성능을 향상시키는 레이더 자원 관리(RRM: Radar Resource Management) 기술의 중요성이 크게 대두되었다. 다기능 레이더의 자원 관리 알고리즘은 다양한 접근 방법을 이용하여 활발히 연구되어 왔으나^[1], 임무의 우선 순위 선정에 관

삼성탈레스(Samsung Thales)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received December 17, 2012 ; Revised January 30, 2013 ; Accepted February 4, 2013. (ID No. 20121217-139)

· Corresponding Author : Hyun-Ju Kim (e-mail : hj74.kim@samsung.com)

해서는 많은 연구가 다루어지지 않거나, 임무의 각 기능에 따라 고정된 우선 순위를 지정하는 방식을 사용하였다^{[2],[3]}.

임무의 기능 만을 고려한 우선 순위 선정 방식은 각 탐색 영역과 추적 표적별 전술적 중요도를 반영하지 못하므로, 전장 상황과 표적 정보에 따라 적응적인 우선 순위 선정 방식을 사용하여 레이더의 성능향상을 기대할 수 있다. Stoffel^[4]은 고정형 우선 순위와 인공 신경망을 이용한 휴리스틱 탐색 기법을 비교하여 후자가 탐색과 추적 성능의 향상을 가져온다고 보고하였다. 이외의 적응형 우선 순위 선정 방식으로는 인공 신경망을 사용한 기법^[5], 퍼지 추론 시스템(Fuzzy Inference System: FIS)을 이용한 기법들이 있다^{[6],[7]}. 이러한 기존 적응형 기법 중에서 실제 시스템에 적용된 예는 Barbaresco의 FIS^[6]가 있다.

임무 우선 순위 선정, 특히 추적 임무의 우선 순위 변경은 일반적으로 표적의 위협도로 판단하며, 이는 레이더 단독으로 결정하기보다 상부 체계의 판단으로 위협을 판단하고, 무장 체계와 연계하여 교전을 위해 이루어진다. 하지만 레이더에서 가용할 자원이 남아 있는 상태에서 이러한 자원을 활용하는 방법으로 교전 표적으로 상위 체계에서 할당된 추적 우선 순위 변경이 아닌 레이더에서 판단하여 추적 성능 향상을 위한 자원을 효율적으로 사용하는 방식으로 접근할 필요가 있다고 생각한다.

본 논문에서는 이러한 추적 임무의 우선 순위를 판단하는 과정을 전문가 입장에서 접근하고 논리 이론 체계보다 인간의 사고나 자연어의 특성을 가장 잘 표현할 수 있는 퍼지 이론을 적용하여 추적 안정도, 위협도 및 접근성이 높은 표적 추적 임무의 우선

순위를 적응적으로 변화시켜 레이더의 추적 성능을 향상시키고자 한다. 이를 위해 기동 궤적을 가지는 표적들을 생성하고, 이를 대상으로 추적 기능을 수행할 때 퍼지 추론 시스템 기반의 임무 우선 순위의 변화에 따른 추적 성능이 어떻게 향상되는지 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

본 논문의 2장에서는 퍼지 추론 시스템을 이용한 임무 우선 순위 선정 알고리즘을 제안하였다. 3장에서는 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 퍼지 추론 시스템 기반 우선 순위 선정

우선 순위 선정자가 활용할 수 있는 정보는 추적 필터로부터의 표적의 운동 정보와 사전에 정의된 표적과 공역의 위협 평가 기준 등이 있다. 여기서는 표적의 운동 정보를 입력 정보로 표적 추적 안정도, 위협도, 접근성을 입력으로 우선 순위를 선정하도록 한다.

2-1 퍼지 집합의 선정

퍼지 추론 시스템의 퍼지 집합은 그림 1과 같이 설정하였다. 각각의 입력 정보는 추적 안정도(Track Quality: TQ), 위협도(Threat Level: TL)와 접근성(Approach Level: AL)로 크게 구성되며, 각각의 하부에 3개의 퍼지 변수를 가지고 있다.

추적 안정도는 거리 오차, 속도 오차, 각도 오차 퍼지 변수를 가지는 퍼지 집합의 퍼지 추론 결과를 비퍼지화한 결과이며, 위협도는 가속도, 거리, 속력 퍼지 변수를 가지는 퍼지 집합의 비퍼지화한 결과이고,

그림 1. 임무 우선 순위 선정 퍼지 집합 연계도

Fig. 1. Fuzzy set of task prioritization.

표 1. 퍼지 집합 입력 범위

Table 1. Fuzzy input parameter's boundary.

Fuzzy set	Fuzzy variable(FV)	Region
Track quality	Range error	0~50 m
	Velocity error	0~50 m/sec
	Angle error	0~0.4°
Threat level	Acceleration	0~10 g
	Range	0~100 km
	Speed	M0~2(680m/s)
Approach level	Range	0~100 km
	Heading	-180°~180°
	Velocity	-M2~2(680m/s)

접근성은 거리, 속도, 진입각 퍼지 변수를 가지는 퍼지 집합의 비퍼지화한 결과이다. 이러한 세 개의 퍼지 집합의 퍼지 추론을 통해 우선 순위가 선정된다. 편의상 각 정보 요소들의 측정치를 0에서 1까지의 값으로 정규화 한 다음 사용하였으며, 각 입출력 차원에서 사용한 퍼지 집합들은 표 1과 같다.

2-2 퍼지 소속 함수의 선정

퍼지 이론을 이용한 우선 순위 선정에서 우선 순위 선정 결과에 가장 큰 영향을 미치는 것은 퍼지 집합의 각 요소가 그 집합에 소속되는 정도이다. 이것을 나타내는 것을 소속 함수(membership function)이라고 하며, 그 모양에 따라 삼각형, 사다리꼴형, 종형, 가우시안 함수형 등으로 나뉜다. 본 논문에서는 계산상의 편리와 우선 순위 선정의 신뢰성을 고려해서 삼각형과 사다리꼴형의 모양을 선택하였다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 퍼지 집합의 소속 함수이다.

- 삼각형: 종형의 간략화로써 일반적으로 많이 사용

$$\mu_{tr}(x) = \begin{cases} \frac{1}{(r-p)}(x-p) + 1, & p < x \leq r \\ -\frac{1}{(q-r)}(x-r) + 1, & r < x \leq q \end{cases}$$

- 사다리꼴: 종형과 삼각형의 혼합

$$\mu_{tz}(x) = \begin{cases} \frac{1}{(s-p)}(x-p) + 1, & p < x \leq s \\ 1, & s < x \leq t \\ -\frac{1}{(q-t)}(x-t) + 1, & t < x \leq q \end{cases}$$

그림 2. 퍼지 집합에 사용된 소속 함수

Fig. 2. Fuzzy membership function.

2-3 퍼지 추론

퍼지 추론에 사용할 퍼지 규칙 기반은 일반적으로 많이 쓰이는 If-then rule을 사용하여, 퍼지 집합 별로 소속된 퍼지 변수는 표 2와 같다. 또한, 퍼지 추론을 위한 퍼지 규칙은 특정 입력 요소에 관계없이 동일한 규칙을 통합하여 표 3과 같이 퍼지 규칙을 설정하였다.

퍼지 규칙은 전문가의 지식과 운용 경험에 근거하여 설정하는 것이 일반적이다. 여기서는 연구자의 경험과 지식으로 규칙을 결정하였다. 각각의 퍼지 집합에 적용된 퍼지 규칙을 표와 그림으로 나타내었

표 2. 퍼지 집합과 퍼지 변수와 추론 결과

Table 2. Fuzzy inference result using fuzzy rules.

Fuzzy variable(FV)	Fuzzy values	Defuzzification
Track quality	Range error	Small, medium, large
	Velocity error	Small, medium, large
	Angle error	Small, medium, large
Threat level	Acceleration	Low, medium, high
	Range	Short, medium, long
	Speed	Very slow, slow, fast, very fast
Approach level	Range	Short, medium, long
	Heading	Inbound, ambiguous, outbound
	Radial velocity	Very slow, slow, fast, very fast
		Stable, transient, unstable
		Very low, low, medium, high, very high
		Evasive, neutral, aggressive

표 3. 퍼지 추론을 위한 각각의 퍼지 규칙 개수

Table 3. Fuzzy rules for fuzzy inference.

Fuzzy set	Number of fuzzy rules
Track quality	19
Threat level	22
Approach level	16
Priority decision	26

표 4. 추적안정도 퍼지 규칙(거리 오차, 속도 오차)

Table 4. Fuzzy rules of track quality.

		속도 오차(ErrV)		
		Small	Medium	Large
거리 오차 (ErrR)	Small	P11	P12	P13
	Medium	P21	P22	P23
	Larage	P31	P32	P33

표 5. 추적안정도 퍼지 규칙(거리 오차, 속도 오차, 각도 오차)

Table 5. Fuzzy rules of track quality.

	각도 오차(ErrA)		
	Small	Medium	Large
P11	Stable	Transient	Unstable
P12	Stable	Transient	Unstable
P13	Transient	Transient	Unstable
P21	Stable	Transient	Unstable
P22	Stable	Transient	Unstable
P23	Transient	Transient	Unstable
P31	Transient	Transient	Unstable
P32	Transient	Unstable	Unstable
P33	Unstable	Unstable	Unstable

다. 표 4와 표 5는 추적안정도의 퍼지 규칙이며, 표 6과 표 7은 위협도의 퍼지 규칙이며, 표 8과 표 9는 접근성의 퍼지 규칙이다. 퍼지 추론에서는 이렇게 설정된 퍼지 규칙을 이용하여 그림 3과 같이 퍼지 추론을 수행한다. 퍼지 추론은 Mamdani의 Min-Max 방법을 사용하였다. 따라서 T-norm은 min, S-norm은 max, 함의함수(implication)은 min을 사용하고, 비퍼지화는 무게중심법(centroid of area)을 사용하였다. 이와 같은 FIS의 구현을 위해 Matlab^(R)의 Fuzzy Logic ToolboxTM를 이용하여 설계하였고, 시뮬레이션을 위해서 C⁺⁺를 이용해서 구현하였다.

그림 3. 퍼지 추론 과정(의사 결정부)

Fig. 3. Processing of fuzzy inference.

표 6. 위협도 퍼지 규칙(거리, 가속도)

Table 6. Fuzzy rules of threat level.

		가속도(FV _{ACC})		
		Small	Medium	Large
거리 (FV _R)	Long	P11	P12	P13
	Medium	P21	P22	P23
	Short	P31	P32	P33

표 7. 위협도 퍼지 규칙(거리, 가속도, 속력)

Table 7. Fuzzy rules of threat level.

	속력(FV _{sp})			
	Very slow	Slow	Fast	Very fast
P11	Very low	Very low	Low	Low
P12	Very low	Low	Low	Low
P13	Low	Low	Low	Medium
P21	Low	Low	Medium	High
P22	Low	Medium	High	High
P23	Medium	High	High	Very high
P31	High	High	Very high	Very high
P32	High	Very high	Very high	Very high
P33	Very high	Very high	Very high	Very high

표 8. 접근성 퍼지 규칙(거리, 진입각)

Table 8. Fuzzy rules of approach level.

		진입각(FV _{Head})		
		Outbound	Ambiguous	Inbound
거리 (FV _R)	Long	P11	P12	P13
	Medium	P21	P22	P23
	Short	P31	P32	P33

표 9. 접근성 퍼지 규칙(거리, 진입각, 속도)

Table 9. Fuzzy rules of approach level.

	속도(FV _v)			
	Very slow	Slow	Fast	Very fast
P11	Evasive	Evasive	Evasive	Evasive
P12	Evasive	Evasive	Evasive	Neutral
P13	Evasive	Evasive	Neutral	Neutral
P21	Evasive	Evasive	Evasive	Evasive
P22	Evasive	Neutral	Neutral	Aggressive
P23	Neutral	Neutral	Aggressive	Aggressive
P31	Evasive	Evasive	Evasive	Evasive
P32	Neutral	Neutral	Aggressive	Aggressive
P33	Aggressive	Aggressive	Aggressive	Aggressive

그림 4. 비퍼지화 수행

Fig. 4. Defuzzification.

2.4 비퍼지화

퍼지 추론 결과를 시스템에 사용할 수 있는 입력 값으로 변환하는 부분으로, 우선 순위 선정의 결과 값으로 도출된다. 즉, 임무 우선 순위를 높일 것인지(increase), 유지할 것인지(stay), 감소할 것인지(decrease) 결정된다. 이러한 비퍼지화는 그림 4와 같이 수행되며, 수행된 결과는 0~1 사이의 값으로 나타난다. 본 논문에서는 임무 우선 순위 설정을 위한 “우선 순위 증가”의 경계값을 0.7로 설정하였으며, “우선 순위 감소”의 경계값을 0.3으로 설정하였다.

2.5 우선 순위 선정 기법

기존의 많은 연구들과 마찬가지로 각 임무의 기능에 따라 우선 순위에 차등을 둬으로써 표적 정보 등이 줄 수 없는 기능 고유의 긴급성과 중요도를 반영할 수 있다^[9].

Butler의 논문^[8]에서 사용된 우선 순위에 우선 순

위 선정자가 위협 표적으로 분류하여 가장 높은 우선 순위로 할당할 수 있는 “위협 표적 추적”을 추가하였다. 다음은 새롭게 선정된 우선 순위이다.

5. 위협 표적 추적(threat track update)
4. 재탐색/추적관리(track maintenance)
3. 플롯 확인(plot confirmation)
2. 추적 초기화(track initiation)
1. 추적 갱신(track update)
0. 탐색(surveillance)

우선 순위는 실수로 나타내어 높을수록 큰 값을 가지며, 0부터 시작한다. 여기서는 추적 정보를 입력 값을 가지는 퍼지 집합을 설정하였으므로, 우선 순위 선정자가 우선 순위를 할당할 수 있는 것은 최상위 우선 순위의 “위협 표적 추적”이다. 즉, “추적 갱신” 또는 “재탐색/추적관리” 우선 순위의 임무가 수행될 때 퍼지 추론을 통해 최상위 우선 순위의 임무로 전환될 수 있으며, 반대로 최상위 우선 순위에서 “추적 갱신” 우선 순위로 전환될 수 있다. 이는 표적의 정보가 신뢰할 수 있는 수준으로 사용할 수 있는 임무단계가 추적이므로 우선 순위 선정시 신뢰성을 위해 제한적으로 적용해 보았다. 그림 5에 우선 순위 선정 시 퍼지 추론 과정을 나타내었다.

추적 정보가 갱신되면 추적 정보를 이용하여 입력 값을 퍼지화하고, 설정된 퍼지 규칙을 통해 퍼지 추론을 시작한다. 퍼지 추론 결과값이 설정된 경계값 0.7 이상이면 우선 순위 “증가”를 수행하고, 0.3 이하

그림 5. 우선 순위 선정 퍼지 추론 과정

Fig. 5. FIS process of task prioritization.

이때 우선 순위 “감소”가 수행된다. 중간값이면 현재 우선 순위를 “유지”하게 된다. 단, 증가와 감소는 상대적으로 수행 가능한 단계에 있어야 동작된다. 즉, 낮은 단계에 있으면 증가, 높은 단계에 있으면 감소되는 방식이다.

Ⅲ. 시뮬레이션 수행

2장에서 설명한 퍼지 추론 시스템을 이용한 우선 순위 선정 기법이 실제 표적의 기동에 따라 어떠한 우선 순위를 도출해 내는지 확인하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 수행을 위해 다기능 레이더 모델과 표적 기동 모델 및 신호 처리 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 다기능 레이더의 운용과정은 그림 6과 같다. 고정 모드에서 탐색(surveillance)을 수행하고, 시나리오에 설정된 표적을 탐지하고 확인(confirmation) 및 획득(acquisition)과정을 수행 후, 추적으로 전환된다. 추적 과정에서 설계된 퍼지 추론 시스템을 적용하여 임무 우선 순위 선정 과정을 수행한다. 우선 순위 변경이 필요하면 가장 우선 순위가 높은 위협 표적 추적으로 전환되어 빔 스케

줄링시 우선적으로 빔 요청을 처리한다. 추적 성능 향상을 위해 이 경우 추적 주기를 일반 추적의 1/5로 줄여서 수행하도록 처리하였다. 이는 임무 우선 순위의 변경 시 빔 스케줄링 우선 순위 조정과 추적 성능 향상을 위한 방식으로 다양하게 시도될 수 있다. 이를 통해 다양한 기동 특성을 가지는 표적에 특화된 추적필터의 최적화가 힘든 경우에도 시뮬레이션 결과와 같은 안정적인 추적 성능의 향상을 가져올 수 있을 것이며, 확장 형태로 추적 필터의 계수 조정과 같은 방식의 적용으로 더욱 안정적인 성능을 도출할 수 있을 것이라 생각한다.

시뮬레이션에 사용된 시나리오는 표 10과 같다. 전체 시뮬레이션 시간은 100초이며, 시나리오에 설정된 기동 표적은 뱀 기동(snake maneuvering)과 회전 기동(turn maneuvering) 표적이다. 각각의 궤적은 퍼지 추론 시스템을 이용한 임무 우선 순위 선정 기법을 적용한 경우와 적용하지 않는 경우로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 레이더 자원 점유율을 비교하기 위해 15개의 동일 기동을 수행하는 시나리오를 사용하였으며, 각각의 궤적은 그림 7, 그림 8과 같다. 그림 7은 15대의 항공기 표적이 20초부

그림 6. 퍼지 추론 시스템을 이용한 임무 우선 순위 선정 과정

Fig. 6. Task prioritization process using FIS.

표 10. 시나리오 초기정보

Table 10. Scenario initial informations.

시나리오	수행 시간	시작 거리	기동	개수	속도
1	100초	45 km	뱀 기동	15	300 m/s
2	100초	45 km	회전 기동	15	300 m/s

그림 7. 표적궤적: 뱀 기동

Fig. 7. Target trajectory: snake maneuvering.

그림 8. 표적 궤적: 회전 기동

Fig. 8. Target trajectory: turn maneuvering.

터 뱀 기동을 시작하여, 시뮬레이션 종료 시점까지 동일한 기동을 수행하며, 그림 8은 동일 개수의 표적이 30~60초 사이에 2초 간격으로 회전 기동을 시작하도록 궤적을 설정하였다.

퍼지 집합의 입력값으로 사용되는 추적 정보는 표적 추적 오차 정보, 거리, 속도(속력), 가속도, 진입각(heading) 정보이다. 먼저, 표적 추적 오차 정보는 거리 오차, 속도 오차, 각도 오차에 대한 정규화를 수행한다. 정규화를 위한 오차의 최대 범위를 각각 설정하였으며, 이는 다음과 같다.

$$\Delta \bar{R} = \left| \frac{\tilde{R} - R_m}{\sigma_R} \right|, 1\Delta \bar{V} = \left| \frac{\tilde{R} - \dot{R}_m}{\sigma_V} \right|, \Delta \bar{\theta} = \left| \frac{\tilde{\theta} - \theta_m}{\sigma_\theta} \right|$$

여기서, $[\Delta \bar{R}, \Delta \bar{V}, \Delta \bar{\theta}]$ 는 정규화된 퍼지 입력값

이며, $[\tilde{R} - R_m, \tilde{R} - \dot{R}_m, \tilde{\theta} - \theta_m]$ 는 예측 위치와 측정 위치의 차이인 추적 오차값이며, $[\sigma_R, \sigma_V, \sigma_\theta]$ 는 정규화를 위한 분산값이다. 거리는 100 km로 정규화하며, 속도(속력)은 680 m/sec로 정규화 하였다. 진입각은 속도 벡터(X-Z 평면)와 방위각의 차이를 이용하여 180°로 정규화 하였다.

시나리오별로 각각 FIS 임무 우선 순위 선정 기법을 사용전과 사용후에 대한 결과를 시뮬레이션하고, 그 결과를 그림 9에 나타내었다. FIS 임무 우선 순위 선정 기법을 사용 전에는 고기동을 수행한 기동 표적의 추적을 소실하는 경우가 빈번히 발생되며, 사용후에는 안정적으로 추적을 지속하는 것을 확인할 수 있다. 각각의 기동 표적에 대한 FIS 처리 결과는 그림 10과 그림 11에 나타내었다.

임무 우선 순위 기법 사용전과 사용후의 추적 성능을 비교하기 위해 다음과 같은 RMS(Root Mean Square) 오차를 계산하였다.

$$rms(x) = \sqrt{\sigma_x^2 + \Delta_x^2}$$

여기서, σ_x^2 는 표준편차, Δ_x^2 는 bias 오차이다.

각각의 결과는 표 11과 표 12에 나타내었다. 비교 결과, 임무 우선 순위 선정 기법을 적용한 추적 성능이 적용하지 않는 경우보다 추적정확도가 향상됨을 확인할 수 있었다. 뱀 기동 표적은 약 2배 가량 추적정확도가 높아지며, 회전 기동은 거리 오차는 약 2.5배, 속도 오차는 3.7배 가량 추적정확도 향상을 나타

표 11. 뱀 기동 추적 정확도

Table 11. Track accuracy of snake maneuvering.

M(Snake)	RMS_ErrR	RMS_ErrV	RMS_ErrAz	RMS_ErrEl
Using FIS	13.28	29.88	4.07	2.35
Not using FIS	24.72	44.03	8.90	4.52

표 12. 회전 기동 추적 정확도

Table 12. Track accuracy of turn maneuvering.

M(Turn)	RMS_ErrR	RMS_ErrV	RMS_ErrAz	RMS_ErrEl
Using FIS	9.49	25.96	3.42	2.25
Not using FIS	25.35	97.36	5.08	3.92

그림 9. FIS 임무 우선 순위 선정 기법 사용 전(좌), 후(우)

Fig. 9. Before(left), after(right) using FIS algorithm.

그림 10. 퍼지 추론 시스템 적용 결과(뱀 기동)

Fig. 10. FIS results of snake maneuvering.

그림 11. 퍼지 추론 시스템 적용 결과(회전 기동)

Fig. 11. FIS results of turn maneuvering.

내었다.

IV. 맺음말

본 논문에서는 퍼지 추론 시스템을 이용하여 다기능 레이더의 임무 우선 순위를 선정하는 기법에 대해 제안하였다. 제안된 퍼지 추론 시스템을 이용한 우선 순위 선정 기법으로 서로 다른 기동 표적에 대해 적용하여 추적 안정도, 위협도와 접근성을 퍼지 집합으로 설정하고, 전문가에 의해 설정된 퍼지 규칙을 기반으로 임무 우선 순위의 증감을 결정할 수 있음을 시뮬레이션 통해 확인하였다. 또한, 다표적의 기동 표적 시나리오를 통해 퍼지 추론 시스템을 이용한 임무 우선 순위 선정 기법 사용전과 사용후를 시뮬레이션하고 추적 성능을 비교하였으며, 그 결과 제안된 기법을 사용시 추적 안정도의 향상과 추적정확도가 2배 이상 개선됨을 확인할 수 있었다.

일반적으로 레이더에서 추적 중인 표적을 소실하게 되면 탐색 과정부터 새롭게 소실된 표적을 탐지하고, 추적 초기화 과정을 완료한 후 다시 추적 상태에 진입하게 된다. 레이더 설계시 탐지 확률과 프레임 타임에 의해 소실 표적의 재탐지가 결정되고, 추적 초기화 과정 또한 몇 번의 빔 할당의 과정이 필요하다. 따라서 추적 상태의 안정도는 레이더의 자원의 효율적 사용에 상당히 중요한 영향을 준다. 이러한 추적 안정도를 얻기 위해 FIS 임무 우선 순위 선정 기법이 적절히 활용될 수 있음을 시뮬레이션으로 확인할 수 있었다.

마지막으로 퍼지 추론 시스템을 적용한 임무 우선 순위 선정 기법을 사용할 경우, 레이더의 자원 점유율을 임무 단계별로 비교하였으며, 기법 적용 시 2 % 내외에서 추적 임무 자원 점유율이 증가됨을 알 수 있었다. 이는 일반적인 레이더의 탐색 자원 할당과 탐지 확률 및 최대표적 추적 개수 설정 시 임무 우선 순위 선정 기법으로 할당될 “위협 표적 추적” 우선 순위의 개수를 설정할 때 고려해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Z. Ding, "A survey of radar resource management algorithm", in *Proc. Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering, CCECE 2008*, pp. 1559-1564, 2008.

- [2] S. H. Baek, H. Seok, K. H. Park, and J. Chun, "An adaptive update-rate control of a phased array radar for efficient usage of tracking tasks", *2010 IEEE Radar Conference*, pp. 1214-1219, 2010.
- [3] A. G. Huizing, A. A. F. Bloemen, "An efficient scheduling algorithm for a multifunction radar", *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, pp. 359-364, 1996.
- [4] A. P. Stoffel, "Heuristic energy management for active array multifunction radars", *1994 IEEE National Telesystems Conference*, pp. 71-74, 1994.
- [5] W. Komorniczak, J. Pietrasinski, "Selected problems of MFR resources management", *3rd International Conference on Information Fusion*, vol. 2, pp. WEC1/3-WEC1/8, 2000.
- [6] F. Barbaesco, "Intelligent multi-mission radar resources management", *2008 IEEE Radar Conference*, Tutorial, 2008.
- [7] S. L. C. Miranda, C. J. Baker, K. Woodbridge, and H. D. Griffiths, "Fuzzy logic approach for prioritisation of radar tasks and sectors of surveillance in multifunction radar", *IET Radar, Sonar Navigation*, vol. 1, no. 2, pp. 131-141, 2007.
- [8] J. M. Butler, Tracking and control in multi-function radar, Ph.D. Dissertation, University College London, 1998.
- [9] 장대성, 안성태, 최한림, 노지은, "항공기용 다기능 레이더의 그래프 기반 임무 우선 순위 선정 기법과 퍼지 추론 시스템 기반 기법 비교", *KS-AS 춘계학술대회*, pp. 984-989, 2012년.

김 현 주

2002년 2월: 부산대학교 지능제어 공학과 (공학석사)
 2001년 11월~현재: 삼성탈레스 전문연구원
 [주 관심분야] 레이더 통제기, 추적 알고리즘, 자원관리알고리즘

김 동 환

2005년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 능동 위상배열 레이더 시스템 설계, 자원관리 알고리즘 등

박 준 영

1999년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 7월: (주)감마누 부설연구소 선임연구원
 2002년 7월~현재: 삼성탈레스 전문연구원
 [주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더 시스템 설계, 레이더 통제알고리즘, 신호처리 알고리즘

김 선 주

1986년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 반도체 송수신 모듈 설계, 능동 위상 배열 레이더 시스템 설계, 항공기 레이더