

# Normalized Rayleigh Likelihood를 활용한 표적신호세기정보 적용 다중표적추적 기술

김수진<sup>\*,1)</sup> · 정영현<sup>1)</sup> · 김성준<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제5기술연구본부

## Multiple Target Tracking using Normalized Rayleigh Likelihood of Amplitude Information of Target

Sujin Kim<sup>\*,1)</sup> · Younghun Jung<sup>1)</sup> · Seongjoon Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 20 January 2017 / Revised 19 May 2017 / Accepted 21 July 2017)

### ABSTRACT

This paper presents a multiple target tracking system using Normalized Rayleigh likelihood of amplitude information of target. Although many studies of Radar systems using amplitude information have been studied, they are focused on single target tracking. This paper proposes the multiple target tracking using amplitude information as well as kinematic information from Radar sensor. The amplitude information are applied in generating the association probability of joint probabilistic data association(JPDA) algorithm through the normalized Rayleigh likelihood. It is verified that the proposed system can enhance the track maintenance and tracking accuracy, especially, in the target crossing case.

Key Words : RCS(레이더반사면적), Radar(레이더), JPDA(결합확률데이터연관), Multiple Target Tracking(다중표적추적)

### 1. 서론

험준한 야지 및 산악 환경이 많은 우리나라 지형에서는 무인경계태세 및 전방위 감시를 위해 운전자의 조작 없이 스스로 외부환경을 인지하여 다른 차량이나 물체, 사람 등의 장애물을 감지하고 회피 가능하도록 하는 자율주행 무인차량 기술개발이 필수가 되어가

고 있다<sup>[1]</sup>. 영상 카메라(camera), 라이다(LIDAR, Light Detection And Ranging), 레이더(RADAR, Radio Detection And Ranging)와 같은 지형/지물에 대한 3차원 정보를 획득할 수 있는 원격센싱(Remote sensing) 기술이 발전함에 따라, 이를 차량에 탑재하여 무인자율주행이 가능한 무인지상차량에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 주변 장애물 인지 및 회피에 강인한 자율 감시 시스템을 구현하기 위하여 물체 탐지 및 강인한 물체 추적을 수행하기 위한 기술개발이 요구된다. 특히 장애물이 많은 야지 환경에서는 환경 인지 및 물체추

\* Corresponding author, E-mail: sjkim12@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

적을 위하여 다양한 센서들로부터 획득한 측정치들을 이용하여 트랙을 생성하고, 이후 측정치들을 기반으로 트랙정보를 쇄신하기 위해서 항적과 유효측정치를 연관시켜주는 데이터연관기법(Data Association)에 대한 연구가 요구되고 있다.

현재까지 개발된 데이터 연관기법으로는 탐지결과를 기반으로 유효 게이트(Gate)내 가장 가까운 거리에 존재하는 측정치를 항적과 연관시키는 Nearest Neighbor (NN)기법<sup>[2]</sup>과 측정치와 항적사이에 연관될 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 확률로 연관도를 판단하는 Joint Probabilistic Data Association(JPDA)<sup>[3]</sup>, JPDA의 높은 복잡도를 개선하기 위해 NN기법을 혼용한 NN-JPDA<sup>[4]</sup> 기법 등이 있다.

이러한 기존 데이터 연관기법에서 나아가 표적의 추적 성능을 개선하기 위한 연구 또한 활발하게 진행되고 있다. 기존 연구들은 측정치들로부터 거리, 속도, 가속도 등의 운동학 정보(Kinematic information)를 사용하여 데이터 연관을 수행하는데서 나아가 측정치로부터 반사 신호세기(Amplitude), 형태 특성(Appearance) 등의 유용한 정보를 융합하여 연관시키는 기술 들이 개발되고 있다<sup>[5-9]</sup>. 특히 레이더센서 기반 표적추적 기술에서는 신호세기 정보를 활용한 표적추적기술에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔지만 주로 신호세기, 즉, 레이더 반사영역(RCS, Radar Cross Section)의 특성분석에 관한 연구가 수행되어 왔다<sup>[5-8]</sup>. 또한 D. LERRO는 RCS정보를 활용하여 추적 성능을 개선하고자 하는 연구를 수행하였으나 단일표적 추적 시스템에만 국한되어 있다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 레이더 센서기반 다중표적 추적 기술로 기존의 레이더 센서로부터 획득된 표적의 거리 및 방위각 정보 외에 신호세기 정보를 다중표적 추적 시스템에서의 데이터 연관기법에 적용하는 방안을 제안한다. 특히 그동안의 레이더 신호세기 적용 연구는 단일표적 추적에만 국한됨에 비해 다중표적 추적 기술로 확장하였으며, Rayleigh 우도비(Rayleigh likelihood ratio) 적용에 대한 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위해 Normalized Rayleigh likelihood를 활용한 신호세기 정보 활용방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 신호세기 정보를 활용한 다중표적 추적처리를 위한 다중 표적 추적시스템에 대하여 설명하며, 3절에서는 제안하고자 하는 추적시스템으로의 신호세기정보 적용 방안을 설명하며 4절에서 추적 필터로의 적용방안을 설명하고 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. 다중 이동물체 추적 시스템

Fig. 1은 본 논문에서 고려하는 다중 이동물체 추적 시스템을 나타낸다. 제안 다중표적 추적 시스템은 레이더 센서로부터 획득된 탐지 값, 즉 거리 및 방위각 그리고 신호세기 정보를 바탕으로 표적의 항적 추적을 수행한다. 거리 및 방위각을 통한 위치정보를 통해 Gate(유효표적으로 판단하고자 하는 관심영역)내에 존재하는 유효측정치와 그렇지 않은 클러스터를 분리한 후 (Gating), 유효측정치와 항적을 연관시키는 JPDA과정(Data Association)을 수행한다. 이 과정에서 본 논문에서 제안하고자 하는 신호세기가 JPDA의 연관확률 생성과정에 활용된다. JPDA를 통해 획득된 연관확률이 추적필터 내 추정과정의 가중치로 적용되어 표적의 다음 항적이 추정되며(Track Filtering), 이때 게이트 외 새로운 측정치는 항적 초기화 과정을 통해 유효 시 새로운 항적으로 생성된다. 항적의 정보는 생성, 유지 또는 삭제를 결정하는 항적관리(Track Management) 과정을 통해 지속적으로 갱신된다.

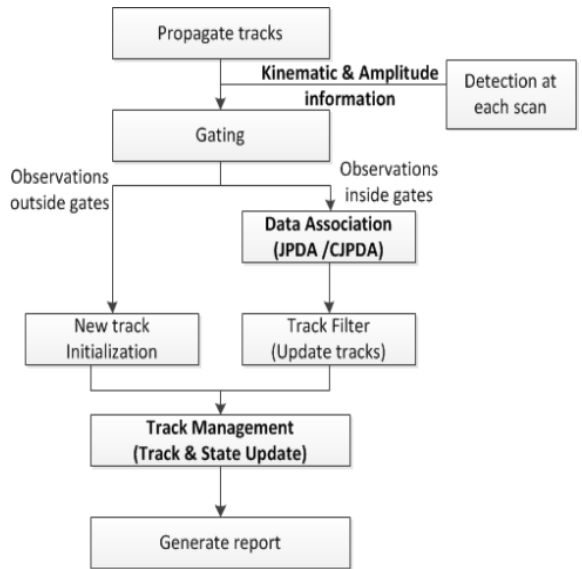


Fig. 1. Proposed multiple target tracking system

## 3. 신호세기 정보를 활용한 데이터 연관기법

데이터연관 기법은 클러스터가 존재하는 환경에서 레이더센서를 통해 탐지된 표적에 대한 속성 정보로 확

득된 표적의 위치, 도플러, 신호세기 정보를 활용하여, 표적으로부터 기인한 측정치를 유효 항적으로 연관시켜 주는 기법이다. 클러터는 항적 생성 및 유지율이 떨어지게 되어 추적 성능을 열화 시킬 수 있기 때문에 클러터의 영향을 최소화하고 추적성능을 향상시키기 위해서는 데이터 연관기법이 필수적으로 소요된다. 본 연구에서는 복잡도는 높지만 다중표적추적에서 높은 성능을 보이는 JPDA기법을 고려했다. 특히, 물체로부터 반사되어 들어오는 RCS 즉 신호세기 정보를 데이터연관기법에 적용하여 추적의 성능을 향상시키는 기법을 제안한다.

### 3.1 JPDA 데이터연관 기법

JPDA는 다중물체의 위치를 추정을 위해 게이트 내 검출된 모든 측정치와 다중트랙과의 연관확률을 구하는 방식이다. 이는 측정치와 트랙 간에 발생할 수 있는 모든 사건의 경우를 고려함으로써, 클러터가 많은 환경에서 보다 강인한 성능을 보인다.

JPDA에서의 연관확률은 현재시간까지의 측정치 집합  $Z_m^t(k)$ 가 주어졌을 때, 모든 각 결합사건  $\hat{\Omega}(\theta)$ 에 대한 복합확률의 합으로 다음과 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$\beta_{j,t}(k) = \sum_{\theta} P\{\theta|Z_m^t(k)\} \hat{\Omega}_{j,t}(\theta) \quad (1)$$

여기서,  $P\{\theta|Z_m^t(k)\}$ 는  $j$ 번째 측정치가  $t$ 번째 트랙에 연관되는 어떤 사건  $\theta$ 에 대한 복합확률을 의미하며 아래와 같다.

$$P\{\theta|Z_m^t(k)\} = \frac{1}{c} p[v_1, v_2, \dots, v_m | \theta, m, Z_m^t(k-1)] \cdot P\{\theta | m, Z_m^t(k-1)\} \quad (2)$$

여기서,  $c$ 는 표준화상수를 나타내며,  $p[v_1, v_2, \dots, v_m | \theta, m, Z_m^t(k-1)]$ 는 결합사건  $\theta$ 가 주어졌을 때  $m$ 개의 유효화 측정치들의 사전 조건부 확률 밀도 함수이며,  $P\{\theta | m, Z_m^t(k-1)\}$ 는  $\theta$ 에 대한 사전 확률 값이다.

또한  $\hat{\Omega}_{j,t}(\theta)$ 는  $j$ 번째 측정치와  $t$ 번째 항적간의 발생 가능한 모든 결합사건에 대한 행렬을 의미한다. 그의 JPDA에 대한 상세한 유도과정은 참고문헌 [3]에 설명되어 있어 생략한다.

요약하면 JPDA는 획득된 유효화 행렬로부터 발생

가능한 모든 결합 사건  $\theta$ 들을 구하게 되며,  $\beta_{j,t}$ 는  $z_j(k)$ 가 표적  $t$ 에 연관될 확률은 어떤 사건  $\theta_j^t$ 을 포함하는 모든 복합 사건  $\theta$ 에 대한 복합 확률의 합,  $\beta_{0,t}$  표적  $t$ 로부터 아무런 측정치도 발생하지 않을 확률로써 다음식과 같이 표현된다.

$$\beta_{j,t}(k) = \sum_{\theta} \frac{1}{c} \frac{\epsilon}{m!/\phi!} \prod_{j=1}^{m_k} N[v_{j,t}(k); 0, S] \cdot \prod_{t=1}^T (P_D^t)^{\delta_t} \prod_{t:\delta_t=0} (1 - P_D^t)^{\delta_t} \cdot \hat{\Omega}_{j,t}(\theta) \quad (3)$$

$$\beta_{0,t}(k) = 1 - \sum_{j=1}^m \beta_{j,t}(k)$$

여기서,  $N[v_{j,t}(k); 0, S]$ 는 측정치들의 거리오차가 정규분포를 따른다는 가정 하에  $j$ 번째 측정치와  $t$ 번째 항적추정치의 거리 차이인 이노베이션  $v_{j,t}$ 와 그의 공분산  $S$ 으로 이루어진 측정치-항적 우도(measurement-to-track likelihood)로 아래 식과 같으며, 이하  $\Lambda$ 로 표현한다.

$$\Lambda_{j,t}^d = N[v_{j,t}(k); 0, S] = \frac{1}{\sqrt{|2\pi S|}} \exp\left[-\frac{1}{2} v_{j,t}^T S^{-1} v_{j,t}\right] \quad (4)$$

### 3.2 기존 신호세기정보를 활용한 데이터 연관기법

레이더 센서기반 추적시스템에서는 레이더의 신호에서 획득한 정보 중 거리 및 방위각 정보만이 아니라, 신호세기라 여겨지는 레이더반사영역(RCS) 정보를 활용하여 추적 성능을 향상시키는 연구가 행해져 왔다<sup>[5-8]</sup>. 대부분의 연구는 단일표적에 대한 연관확률 획득과정에서 수행되어 왔으며, 따라서 PDA 기반에서 신호세기 정보는 거리정보와 독립적(independent)이다는 가정 하에 Rayleigh 우도비(Rayleigh likelihood ratio)가 연관확률 획득과정에서 가중치로 적용되었다. 따라서 단일표적의 측정치-항적 우도식은 아래와 같다.

$$\Lambda_{d,A} = \Lambda_d \times \Lambda_A = \frac{1}{(1+A^2)\sqrt{|2\pi S|}} \exp\left(-\frac{1}{2} v^T S^{-1} v\right) \times \exp\left[\frac{1}{2} \left(\frac{A^2}{1+A}\right) (A_0^2 - A_h^2)\right] \quad (5)$$

여기서  $\Lambda_d$ 는 수식 (4)에서  $t = 1$  인 경우를 의미하며,  $\Lambda_A$ 는 단일표적에서의 Rayleigh 신호세기 우도비

(Rayleigh Amplitude likelihood ratio)를 의미하며 아래와 같이 표현된다.

$$A_A = \frac{1}{(1+A^2)} \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{A^2}{1+A^2}\right)(A_0^2 - A_{th}^2)\right] \quad (6)$$

여기서,  $A$ 는 수신된 평균 신호대잡음비(SNR)을 의미하며,  $A_0$ 는 표적으로부터 반사되어 들어오는 RCS 크기를,  $A_{th}$ 는 클러터가 아닌 표적으로 탐지하기 위한 RCS 크기의 임계치를 의미한다.

여기서 다중표적시스템에서는 다중표적이 동시에 존재하여 유효측정영역에서 표적이 서로 결합하는 경우에는 주어진 측정치들이 다중표적들에 대하여 독립적이라 하기 어렵다. 따라서 기존에 연구된 단일추적시스템에서의 신호세기 적용방안을 바로 적용하는 데는 어려움이 발생한다.

따라서 다중표적추적 시스템에서의 신호세기 정보를 적용한 연구는 활발히 진행되지 못했으며, 최근 Liu<sup>[4]</sup>가 다중표적에서 모든 표적과 측정치를 동시에 고려하지 않고, 단순화 하여 가장 확률이 높은 항적과 측정치만 고려하여 다중표적에서의 데이터연관 기법을 단순화 시킨 Cheap-JPDA(CJPDA) 기법에서의 신호세기 적용방안에 대한 연구가 진행되었다.

Liu<sup>[4]</sup>는 PDA에서 확장된 형태로 각 표적은 연관되지 않는 다른 항적과 독립적이며, 신호세기 정보는 거리정보와도 독립적이라는 가정 하에 연관확률을 단일 표적의 경우와 유사하게 연관확률에 Rayleigh 신호세기 우도비를 가중치의 형태로 적용하여 아래와 같이 구하였다.

$$\beta_{jt} = \frac{A_{j,t}^d A_{j,t}^A}{\sum_{k=1}^T A_{j,t}^d A_{j,t}^A + \sum_{j=1}^{m_k} A_{j,t}^d A_{j,t}^A - A_{j,t}^d A_{j,t}^A + b} \quad (7)$$

### 3.3 제안 신호세기정보를 활용한 데이터 연관기법

앞절에서 설명한 Liu의 연구와 같이 Rayleigh 신호세기 우도비를 연관확률의 가중치로 적용하게 되면 신호세기적용이 오히려 데이터 연관의 성능을 떨어뜨리는 경우가 발생한다. 이는 다중 표적의 경우, 단일 표적의 경우와 다르게 Rayleigh 신호세기 우도비를 바로 적용하면 신호세기가 큰 표적의 우도비가 크게 연관되어 해당표적이 아닌 신호세기가 큰 표적으로 치우쳐 연관되는 문제점이 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 다중표적의 경우에는 신호세기를 우도비로 적용하지 않고, Normalized Rayleigh 우도비(Normalized Rayleigh likelihood)를 활용한 신호세기 정보 적용방안을 제안한다. Normalized Rayleigh 우도는 클러터와 표적 RCS의 수신신호세기 비율이 아닌 수신 표적 RCS분포만을 고려한 것이다. 따라서 Normalized Rayleigh 신호세기 우도를 적용한 제안 측정치-항적 우도(measurement-to-track likelihood)는 아래 수식과 같다.

$$A_{d,A} = A_d \times A_A \quad (8)$$

$$= \frac{A_0}{(1+A^2)\sqrt{|2\pi S|}} \exp\left(\frac{-1}{2}v^T S^{-1}v\right)$$

$$\times \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{1+A}\right)(A_0^2 - A_{th}^2)\right]$$

Fig. 2와 3은 15 dB와 20 dB RCS가 탐지되었을 때 추정된 항적의 신호대 잡음비에 따른 Likelihood 분포를 나타낸다. Fig. 2와 같이 기존의 Rayleigh 신호세기 우도비를 적용 시에는 모두 20 dB의 측정치에 항적이 더 높은 확률로 연관됨을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 3에서 보는바와 같이 Normalized Rayleigh 우도를 고려하면 18.5 dB를 기준으로 기준보다 낮은 신호세기는 15 dB 항적에 그렇지 않은 경우에는 20 dB 항적에 연관될 확률이 더 높게 나타나 수신된 신호세기 정보에 따라 측정치를 해당 표적으로 연관시킬 수 있음을 확인하였다.

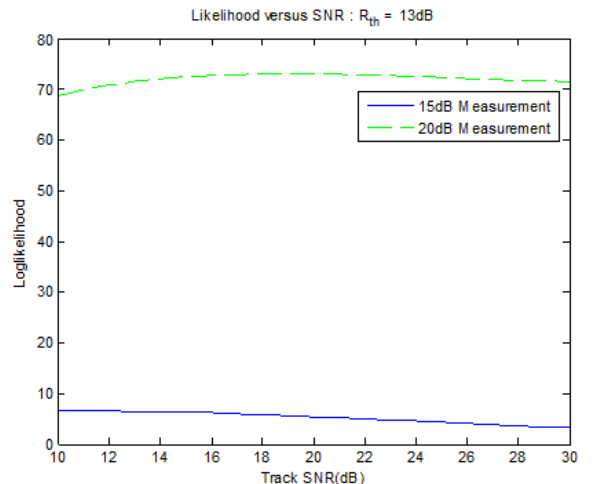


Fig. 2. Likelihood distribution according to signal to noise ratio when applying Amplitude likelihood ratio

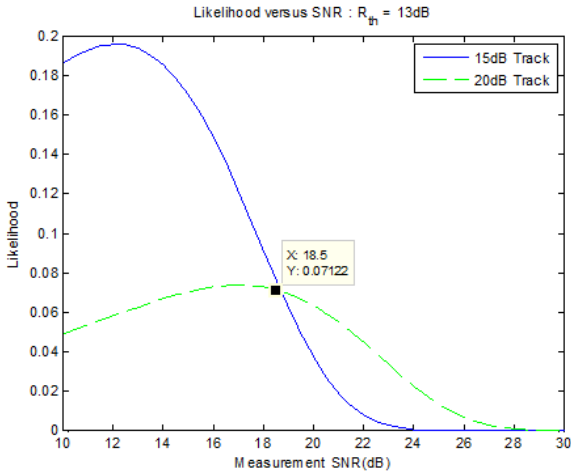


Fig. 3. Likelihood distribution according to signal to noise ratio when applying Normalized Rayleigh likelihood

#### 4. 추적필터

클러터가 많은 환경에서 데이터연관 기법을 통해 항적과 연관되는 유효측정치들이 검출되며, 추적필터를 통해 이 측정치와 연관된 항적의 위치가 추정된다. 제안기술에서 획득한 연관확률은 추적필터의 칼만게인에 가중치로 적용된다.

레이더의 수신신호는 극좌표계의 거리와 방위각 정보로 나타내지며, 추적필터의 위치는 직교좌표계인  $x$ ,  $y$ 로 표현되기에, 본 논문에서는 측정값( $z_k$ )과 추적필터의 상태벡터( $X(k)$ ) 사이의 비선형 관계를 고려하여 비선형 필터를 고려한다. 상태벡터와 측정치와의 관계는 다음과 같이 정리된다.

$$X(k) = [x(k) \dot{x}(k) y(k) \dot{y}(k)] \quad (9)$$

$$z(k) = \begin{bmatrix} r(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} + v(k) = \begin{bmatrix} \sqrt{x(k)^2 + y(k)^2} \\ \arctan\left(\frac{y(k)}{x(k)}\right) \end{bmatrix} + v(k)$$

$$v(k) \sim N\left(0, \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix}\right)$$

따라서 추적필터에서의 상태 추정은 다음과 같고,

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + W(k)v(k) \quad (10)$$

표적  $t$ 에 대한 오차 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(k|k-1) &= F(k-1)P(k-1|k-1)F'(k-1) + Q(k-1) \\ S(k) &= H(k)P(k|k)H'(k) + R(k) \\ W(k) &= P(k|k-1)H'(k)S^{-1}(k) \\ P(k|k) &= \beta_0(k)P(k|k-1) + [1 + \beta_0(k)]P^a(k|k) + \tilde{P}(k) \\ \tilde{P}(k) &= W(k) \left[ \sum_{j=0}^{m_k} \beta_j(k)v_j(k)v_j'(k) - v_j(k)v_j'(k) \right] W'(k) \\ P^a(k|k) &\simeq [I - W(k)H(k)]P(k|k-1) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $S(k)$ 는 이노베이션의 오차공분산 행렬,  $W(k)$ 은 필터게인,  $R(k)$ 은 측정잡음의 공분산 행렬을 나타낸다. 또한,  $H(k)$ 은 측정치와 상태변수의 관계를 나타내는 상태변환행렬로, 적용 시스템마다 다르게 정의 될 수 있으며,  $H'(k)$ 는  $H(k)$ 의 역행렬을 의미한다.

수학식 (11)에서의  $v(k)$ 는 이노베이션의 가중치함수로 앞절에서 제안한 신호세기정보를 활용한 연관확률은 아래식과 같이 연산되어 수학식 (10)의 필터게인에 적용된다.

$$v^t(k) = \sum_{j=1}^{m_k} \beta_j^t(k)v_j^t(k) \quad (12)$$

#### 5. 실험결과

본 논문에서는 JPDA기반 다중표적추적 시스템에서 신호세기를 적용한 알고리즘 성능 분석을 진행하였다. 실험환경은 서로 다른 RCS값을 갖는 두 표적이 교차하는 경우로 실험을 수행하였으며, 상세 시험 환경은 아래 표와 같다.

Table 1. Simulation environment

Parameter	Value
Range error covariance	1 m
Angle error covariance	1°
Estimated SNR	[10 20] dB
Gate Size	3 m

레이더 신호의 거리오차는 1 m, 방위각오차는 1°의 공분산을 가지며, 신호세기 우도비의 평균신호대 잡음비(A)는 각 10, 20 dB이며 게이트 크기는 3 m로 설정하였다.

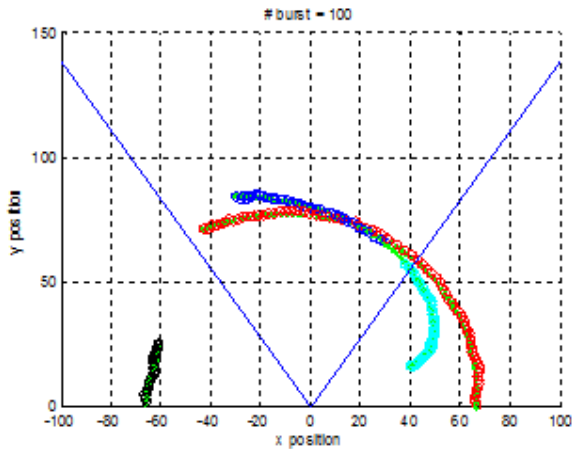


Fig. 4. Tracking performance without amplitude information

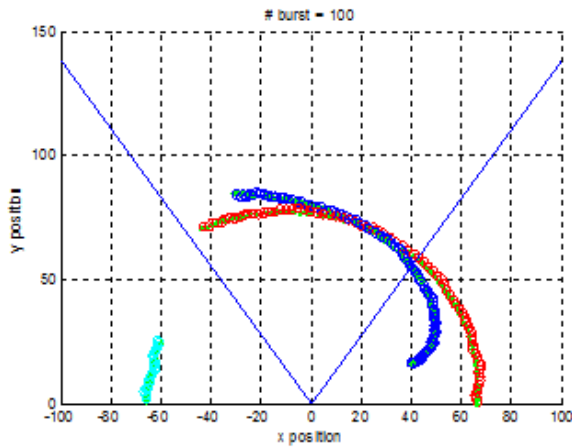


Fig. 5. Tracking performance with amplitude information

Fig. 4는 신호세기정보를 적용하지 않는 경우의 추적성능을 나타낸다. 여기서 항적은 항적의 순서에 따라서 빨간색, 파란색, 코발트색, 검정색 순으로 표현하였다. 그림에서 보는바와 같이 두 표적 즉, 파란색 항적과 빨간색 항적이 교차하였을 때 신호세기 정보가 없는 경우 거리정보만 고려 시 인접위치에서 유사추

정치가 수신되어 하나의 항적으로만 연관되어 항적 끊겨, 새로운 항적 발생함을 볼 수 있다. 따라서 교차 후 파란색 항적이 이어지지 못하고 새로운 항적으로 생성됨을 확인 할 수 있다.

Fig. 4와 같이 거리정보만을 사용하는 경우 인접영역 내 측정치들을 구별하지 못하는 경우가 발생하게 되는데, 신호세기 정보를 활용하면 Fig. 5와 같이 측정치와 항적 간 연관확률이 증가되어 교차인 경우에도 어느 한 항적으로만 연관되지 않고 항적의 끊김 없이 추적을 수행함을 확인할 수 있다. 따라서 파란색 항적과 빨간색 항적은 교차 후에도 지속적으로 항적을 유지하고 있음을 확인하였다.

Table 2는 신호세기를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에서의 추적성능을 거리오차의 RMSE(Root Mean Squared Error) 값으로 비교한 것이다. Monte Carlo 분석으로 100번과 200번 실험을 진행한 결과, 신호세기 값을 적용한 경우 각각 거리오차가 12 cm, 19 cm 줄어듦을 보인다.

Table 2. Tracking performance without amplitude information and with amplitude information

	Without amplitude information (m)	With amplitude information (m)
iteration = 100	0.7370	0.7259
iteration = 200	0.7542	0.7355

Fig. 6은 [-4, 83]의 좌표에서 두 개의 표적이 동시에 교차할 때, Rayleigh likelihood ratio와 Normalized Rayleigh likelihood ratio 적용 시 다중표적 추적 성능을 나타낸다. 우측하단에서 좌측 상단으로 이동하는 검은색 표적은 20 dB, 중앙상단으로 이동하는 빨간색 표적은 10 dB의 평균 신호 대 잡음비를 갖는 표적이라 가정한다.

Fig. 6에서 보는바와 신호세기를 Rayleigh 우도비를 활용하여 적용하는 경우 두 표적이 교차할 때, 측정치는 신호세기가 큰 표적, 즉, 검은색 표적으로 측정치들을 모두 할당하게 되는 항적오할당이 발생하게 되어 항적 추정의 정확도 및 유지율이 떨어지게 된다.

Fig. 7은 제안기법인 Normalized Rayleigh 우도를 적용한 예시이다. Fig. 6과 다르게 제안기법을 적용하는 경우 항적이 교차하더라도 각 표적별 유사 신호세기를

가진 항적으로 표적을 할당하게 되어 항적이 유지되며 항적 추정의 정확도도 향상됨을 확인 할 수 있다.

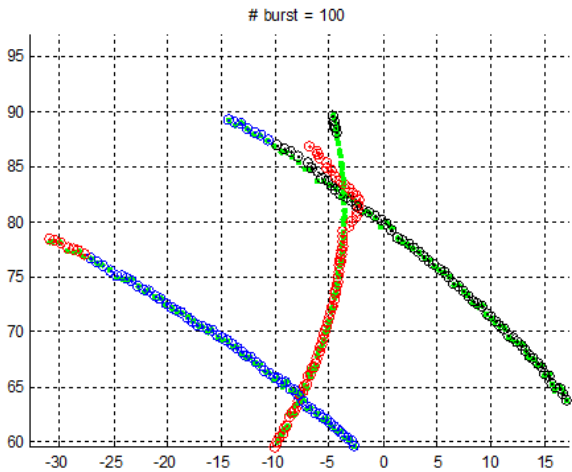


Fig. 6. Tracking performance when applying the Rayleigh likelihood ratio

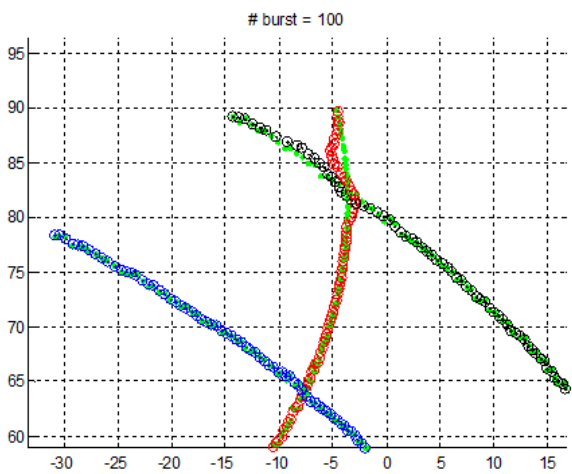


Fig. 7. Tracking performance when applying the Normalized Rayleigh likelihood ratio

## 6. 결론

그동안 레이더센서 기반 신호세기 정보를 활용한 표적 추적 기술은 단일 표적의 경우로 국한되어 연구되어 왔다. 또한 다중표적의 경우 Liu<sup>[4]</sup>가 CJPDA의 경우

로 단순화 하여 신호세기 정보를 Rayleigh 우도비를 가중치로 적용하여 시험하였는데, 이는 다중표적의 경우 신호세기가 큰 표적으로만 할당하는 문제점을 갖고 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 Normalized Rayleigh 우도비를 JPDA 연관확률 획득과정에 적용하여 다중표적의 경우에도 신호세기 정보에 따른 측정치 대 항적 연관 정확도를 향상 시키는 기법을 제안하였다. 제안기술을 적용함으로써 다중표적의 항적 유지 및 항적 추정의 정확도가 향상됨을 확인 하였다.

## References

- [1] S Lee, D Choi, Y Jung, S Lee, J Yoon, "Development of FMCW Radar Target Signal Simulator using Multiplebeam," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 343-349, 2012.
- [2] X. R. Li and Y. Barshalom, "Tracking in clutter with Nearest neighbor Filters: Analysis and Performance," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 32, No. 3, 1996.
- [3] Yaakov Bar-Shalom and Thomax E. Fortmann, "Tracking and Data Association," Academic Press, 1988.
- [4] Yao Liu, Wei Zhang, Mingyan Chen, "Near Neighbor Cheap JPDA IMM Based on Amplitude Information," IEEE International Workshop on Microwave and Millimeter Circuits and System Technology(MMWCST), pp. 1-5, Apr., 2012.
- [5] D. Lerro, "Interacting Multiple Model Tracking with Target Amplitude Feature," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 28, No. 2, pp. 494-509, Apr., 1993.
- [6] S. Puranik Jitendra, K. Tugnai, "Tracking of Multiple Maneuvering Targets using Multiscan JPDA and IMM Filtering," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 43, No. 1, Jan. 2007.
- [7] M. Mertens, M. Ulmke, "GMTI Tracking using Signal Strength Information," IEEE 13th Conference on Information Fusion, pp. 1-8, July, 2010.
- [8] E. F. Brekke, O. Hallingstad, J. H. Glattetre, "Target Tracking in Heavy-Tailed Clutter using Amplitude,"

- IEEE 12th International Conference on Information Fusion, pp. 2153-2160, July, 2009
- [9] L. M. Ehrman, C. Burton, W. D. Blair, "Using Target RCS to Aid Measurement-to-Track Association in Multi-Target Tracking," IEEE 38th Southeast Symposium on System Theory, pp. 89-93, 2006.
- [10] S. Wu, Y. Tan, S. Das, C. Broaddus, M. Y. Chiu, "Multiple-Target Tracking via Kinematics, Shape and Appearance Based Data Association," Proc. SPIE Signal and Data Processing of Small Targets, Vol. 7445, Sep. 2009.
- [11] M. S. Arulampalam, et. Al., "A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/Non Gaussian Bayesian Tracking," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 50, No. 2, 2002.
- [12] G. A. Watson and W. D. Blair, "IMM Algorithm for Tracking Targets that maneuver Through Coordinated Turns," Proc. SPIE., Vol. 1698, pp. 236-247, 1992.
- [13] D. Lerro and Y. Bar-Shalom, "Automated Tracking with Target Amplitude Information," Proc. IEEE American Control Conference, pp. 2875-2880, March, 2009.