

論文 92-29A-2-7

## 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 다중 표적 추적 시스템

## (Multi-Target Tracking System Using Extended JPDA Algorithm)

金城培\*, 方昇哲\*\*, 尹尚老\*\*\*, 金恩洙\*\*

(Sung Bae Kim, Seung Cheol Bang, Sang Ro Yoon, and Eun Soo Kim)

## 要 約

본 논문에서는 서로 교차하거나 평행한 궤도를 갖는 두 표적에 대하여 기존의 JPDA 알고리즘보다 개선된 궤도 추적 성능을 발휘하는 새로운 추적 알고리즘으로써 확장된 JPDA (joint probabilistic data association) 표적 추적 알고리즘을 제시하였다. 확장된 JPDA 알고리즘은 표적들과 측정 데이터들 사이의 연관 확률을 구하는데 있어서 기존의 JPDA 알고리즘에서 측정 데이터를 그대로 이용했던 것과는 달리 각 측정 데이터가 존재하는 표적중의 하나의 측정 데이터라는 가정하에 속도 파라미터를 구해서 연관확률을 구하는데 포함시킴으로써, 서로 교차하는 두 표적에 대한 궤도 추적 능력을 향상시켰으며, 평행하게 움직이는 두 표적간의 track bias 현상을 줄임으로써 JPDA 알고리즘보다 좋은 추적 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 새로운 다중 표적 추적 시스템을 구성하고 임의의 잡음이 섞인 측정 데이터를 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확장된 JPDA 알고리즘이 기존의 JPDA 알고리즘보다 뛰어난 추적 능력을 가지고 있음을 보였다.

## Abstract

In this paper, a new extended JPDA (Joint Probabilistic Data Association) tracking algorithm which has more excellent performance than that of the conventional JPDA algorithm in case of the tracking of crossing targets is proposed. In the proposed extended JPDA algorithm, the velocity parameters as well as the position parameters are included to compute the association probabilities between tracks and measurement data. Then the tracking performance of crossing targets is improved and the track bias of parallel moving targets can be reduced. Accordingly, in this paper, the new extended JPDA algorithm for multitarget tracking is proposed and its good performance is shown through the computer simulation. And, tracking performance of extended JPDA algorithm is also compared with that of JPDA algorithm with our noise model.

\*準會員, \*\*正會員, 光云大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)

\*\*\*正會員, 國防科學研究所  
(Agency for Defense Development)  
接受日字: 1991年 9月 10日

## I. 서 론

최근 항공기의 궤도 추적 또는 미사일의 추적 과  
과와 같은 전략방위 시스템과 항공 관제나 자동 항  
법 장치등에서 충돌 방지를 위한 장치로서 이동 표

적의 실시간 추적 시스템에 대한 개발 필요성이 크게 대두됨에 따라 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 요구에 부응하여 처음으로 각광을 받은 알고리즘이 Kalman 필터인데, 이는 표적의 운동 역학과 잡음은 알고 있고 표적이 maneuvering 하지 않는다는 이상적인 환경에서 이동 물체를 추적하는 알고리즘으로써, clutter에 의한 잡음이 있고 maneuvering이 존재하는 실제 환경에서는 그 응용이 극히 제한적이다.<sup>[1]</sup>

따라서, 측정 데이터가 표적이거나 clutter와 연관될 수 있는 모든 가정에 대한 연관 확률을 구해, 이 연관 확률을 가중치로 사용해서 표적의 상태를 추정하는 Bayes 확률 접근 방법이 제안되었는데, PDA (probabilistic data association) 필터가 가장 대표적인 추적 알고리즘이며, 이 알고리즘은 clutter 존재시 단일 표적에 대한 좋은 추적 결과를 나타내었기 때문에 널리 사용되어 졌다.<sup>[2]</sup> Jaffer와 Bar-Shalom은 다시 이 PDA 알고리즘을 확장시켜서 표적이 한개 이상인 경우에 대한 추적 알고리즘으로써 JPDA (joint probabilistic data association) 알고리즘을 제안하고, 이 JPDA 알고리즘이 다중 표적인 경우에 대해서도 PDA 알고리즘과 같은 추적 능력을 갖음을 보였다.<sup>[3,4]</sup>

그러나, 이 JPDA 알고리즘은 다중 표적을 추적하는 것이기 때문에 두 표적이 서로 작은 각을 두고 교차하는 경우에 track bias에 의해 한개의 표적만 추적하거나 또는 두 표적의 궤도의 중간값으로 궤도를 설정하는 등의 추적 오류 (tracking error)가 발생한다. 또한, 표적이 회전과 같은 maneuvering을 하는 경우에 있어서도 이 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 장치는 추적이 진행되어 나감에 따라 covariance값이 크게 되어 clutter에 민감해짐으로써 표적의 궤도 추적이 불가능하게 되는 경우가 종종 발생하게 된다.<sup>[5,6]</sup>

따라서, 본 논문에서는 기존의 JPDA 알고리즘에서 표적과 측정 데이터 사이의 연관 확률을 구하는데 있어 측정 데이터를 그대로 이용하는 것과 달리, 각 측정 데이터가 존재하는 표적들 중 하나의 측정 데이터라는 가정하에 속도 파라미터를 구해 연관 확률에 이를 포함시킴으로써, 서로 교차하는 두 표적의 궤도를 추적하는 경우에 있어서, 다른 표적의 측정 데이터에 의한 두 궤도간의 track bias를 감소시켜 궤도추적 오류없이 표적을 추적할 수 있고, 또한 표적이 maneuvering을 하는 경우에도 추적이 진행됨에 따라 covariance 값이 증가되지 않아서 궤도 이탈없

이 표적의 궤도를 추적할 수 있는 새로운 확장된 JPDA 표적 추적 알고리즘을 제시하였다.

또한, 임의의 잡음을 포함시켜서 만든 측정 데이터를 가지고 행한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 결과와 본 논문에서 제시한 확장된 JPDA 알고리즘의 추적 결과를 비교 분석하였다.<sup>[7,8]</sup>

## II. JPDA 알고리즘

표적 추적 시스템은 보통 이동 표적에 대한 데이터를 검출하는 전처리 부분과 이와 같이 검출된 데이터를 가지고 이동 표적의 궤도를 추정하는 표적 궤도 추정 부분, 그리고, 이 추정값을 가지고서 전체적인 추적 시스템을 제어하거나 이 추정값을 표시하는 후처리 부분으로 구성되어 있는데 JPDA 알고리즘은 표적의 궤도 추정에 해당하는 부분으로써 전체 추적 시스템의 핵심을 이루고 있다.

일반적으로 표적의 운동 역학 방정식과 표적의 위치에 대한 측정 방정식은 식(1), 식(2)와 같이 recursive한 형태로 나타낼 수 있다.<sup>[1,10]</sup>

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{F} \mathbf{X}_k + \mathbf{G} \mathbf{W}_k & (1) \\ \mathbf{Z}_k = \mathbf{H} \mathbf{X}_k + \mathbf{Y}_k & (2) \end{cases}$$

$$(k=0, 1, 2, \dots)$$

여기서,  $k$ 는 시간을 나타내는 정수이고,  $\mathbf{X}_k$ 는  $k$ 시간에서 표적의 상태를 나타내는  $n$ 차원 벡터로서 일반적으로 위치와 속도의 함수로써 정의된다.  $\mathbf{F}$ 와  $\mathbf{G}$ 는 운동역학 방정식의 전이행렬 (transition matrix)로서 표적의 운동 역학 특성으로 부터 주어지며,  $\mathbf{W}_k$ 와  $\mathbf{Y}_k$ 는 각각 표적의 운동 역학과 측정 센서로부터 발생하는 프로세스 잡음으로써 0의 평균값과 각각  $\mathbf{Q}$ 와  $\mathbf{R}$ 의 covariance 값을 가지고 있는 가우시안 잡음으로 정의되며,  $\mathbf{Z}_k$ 는 표적의 위치에 대한 측정 데이터를 나타내는  $m$ 차원 벡터로서 정의된다.  $\mathbf{H}$ 는 측정 센서의 종류로 부터 결정되는 측정 방정식의 전이행렬이다. 이때, 표적들의 초기 상태는 평균값이  $\mathbf{X}_{00}$ 이고, covariance가  $\mathbf{P}_{00}$ 로써 분포된다고 가정한다.

식(1)과 식(2)에 대한 Kalman-Bucy 해는 다음 식(3)과 같이  $k$ 시간까지 주어진 데이터를 가지고 추정된  $k$ 시간에서의 상태 변수값  $\mathbf{X}_{k:k}$ 와  $k$ 시간까지 주어진 데이터를 가지고 추정된  $k$ 시간에서의 추정값의 covariance  $\mathbf{P}_{k:k}$ 로 주어진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{k:k} &= \mathbf{X}_{k:k-1} + \mathbf{W}_k \mathbf{Z}_k \\ &= \mathbf{F} \hat{\mathbf{X}}_{k-1:k-1} + \mathbf{W}_k \tilde{\mathbf{Z}}_k \end{aligned}$$

$$P_{k:k-1} = P_k + P_k \\ = FP_{k-1:k-1}F' + GQG' - W_k S_k W_k' \quad (3)$$

$$\left[ \begin{array}{l} * \text{innovation: } \tilde{Z}_k \doteq Z_k - \hat{Z}_k \\ * \text{measurement covariance:} \\ S_k \doteq E\{Z_k Z_k'\} = HP_{k:k-1}H' + R \\ * \text{필터 이득 행렬} \\ W_k = P_{k:k-1} H_k' S_k^{-1} \end{array} \right]$$

여기서, '는 전치행렬 (transpose matrix)을 나타내며, innovation  $\tilde{Z}_k$ 는 표적의 k시간에서의 표적의 위치에 대한 측정값  $Z_k$ 과 k-1시간까지의 측정값으로부터의 표적의 위치에 대한 추정값  $\hat{Z}_k$  사이의 차이이며,  $P_{k:k-1}$ 는 k-1시간까지 측정 데이터로 부터 구한 값을 가지고 k시간에서 구한 covariance 값을 나타낸다.

식(3)으로 부터 k시간에서의 표적의 상태  $X_{kk}$ 는 k-1시간에서의 표적의 추정값  $\hat{X}_{k:k-1}$ 과 innovation  $Z_k$ 의 가중치 합으로 주어짐을 알 수 있다. 이와 같은 Kalman-Bucy 필터의 해는 표적이 선형 운동을 하고, clutter가 존재하지 않는다는 이상적인 환경에서 유도된 것으로 표적이 비선형 운동을 한다거나, clutter가 있을 때에는 표적의 추적이 불가능하게 된다.<sup>3,6</sup>

따라서 JPDA 알고리즘에서는 표적의 위치에 대한 측정 데이터들과 존재하는 궤도들 사이의 연관 확률을 구해서 측정 데이터들로 부터 표적의 다음 상태를 추정하는데 이와 같은 연관 확률을 가중치로 이용함으로써 clutter의 문제를 해결할 수 있고, 또한, 표적의 상태에 대한 covariance 역시 이 연관 확률의 함수로 바꾸어줌으로써 표적이 비선형 운동을 할 때 covariance 값을 크게 해줌으로써 표적의 궤도를 오차없이 추적할 수 있었다.

즉, j번째 측정값과 t번째 표적이 연관될 확률  $\beta_j^t$ 는 식(4)와 같이 주어지며,  $b_k$ 는 상수로써 일반적으로 0으로 가정한다.

$$\beta_j^t = \frac{f_t(Z_j; Y^{k-1})}{b_k + \sum_{j=1}^m f_t(Z_j; Y^{k-1})} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Y^{k-1}: k-1시간까지의 측정값  $Z_j$ 의 합 \\ f_t(Z_j; Y^{k-1}) = N_t[Z_j(k); Z_j(k-1), S_t] \\ N_t[\ ]: t 표적의 가우시안 분포 \end{array} \right.$$

식(4)처럼 주어지는 연관 확률이 j번째 측정값과 t번째 표적간의 innovation의 가중치로써 작용하므로 t번째 표적에 대한 innovation의 전체합은 식(5)와 같이 주어진다.

$$\tilde{Z} \doteq \sum_{j=1}^m \beta_j^t \tilde{Z}_j^t \quad (5)$$

따라서, k시간에서의 표적의 상태는 식(3)과 식(5)로

부터 결정되며, 이때 표적의 위치에 대한 innovation 벡터의 covariance는 식(6)과 같이 주어진다.

$$P_{k:k} = P_{k:k-1} - (1 - \beta_0) W_k S_k W_k' + P_k \\ P_k = W_k \left[ \sum_{j=1}^m \beta_j \tilde{Z}_j \tilde{Z}_j' - \tilde{Z} \tilde{Z}' \right] W_k' \quad (6)$$

여기서,  $\beta_0$ 는 연관 확률의 초기값이며,  $\beta_j$ 는 j번째 측정 데이터의 연관 확률의 합이다.

식(5)와 식(6)으로 부터 알 수 있듯이 JPDA 알고리즘에서 표적의 위치에 대한 예측값과 실제 측정값 사이의 차이인 innovation 벡터와 이 벡터의 covariance가 표적과 측정 데이터들 사이의 연관 정도의 확률 함수로 주어져서 clutter에 의한 측정 데이터가 표적의 상태를 추정하는데 작은 부분을 차지하여 Kalman-Bucy 필터의 한계를 극복할 수 있다.

### III. 확장된 JPDA 알고리즘

JPDA 알고리즘은 존재하는 표적들과 표적의 측정 데이터들 사이의 연관 확률을 구하는데 있어서 표적의 측정 데이터를 그대로 이용하였기 때문에 두 개의 표적이 서로 작은 각으로 서로 교차한다면, 한 표적이 다른 표적의 측정 데이터와 연관될 확률이 올바른 측정 데이터와 연관될 확률값과 비슷하게 되어 추적 오류가 발생하게 된다. 또한, 서로 평행하게 진행되는 두 표적이 존재하는 경우에 track bias 현상이 발생 두 궤도가 서로 끌리게 되어 하나로 합쳐져서 한 궤도를 상실하거나, 그 두 궤도 사이의 중간 값으로 궤도가 수렴하는 등의 추적 오류가 발생하게 된다.<sup>6</sup>

따라서, 본 논문에서는 표적의 위치에 대한 측정 데이터와 표적들간의 연관 확률을 구하는데 있어서 측정 데이터를 그대로 이용하는 기존의 JPDA 알고리즘과 달리 각 측정 데이터가 존재하는 표적 각각의 측정 데이터라는 가정하에 속도 파라미터를 구해서 이를 연관확률을 구하는 식에 포함시킴으로써, 앞에서 언급한 바와 같은 JPDA 알고리즘의 한계를 극복할 수 있는 새로운 알고리즘으로써 확장된 JPDA 추적 알고리즘을 제시하였다.

즉, 연관 확률에 관한 식(4)를 다음 식(7)과 같이 바꾸어 줌으로써 두개의 표적이 서로 작은 각으로 교차하거나, 서로 평행하게 진행되는 경우에 두 표적의 궤도에 대한 추적 오류를 없앨 수 있다.

$$\beta_j^t = \frac{f_t(Z_j; Y^{k-1}) + f_t(V_j; Y^{k-1})}{b_k + \sum_{j=1}^m f_t(Z_j; Y^{k-1}) + \sum_{j=1}^m f_t(V_j; Y^{k-1})} \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} * f_t(Z_j; Y^{k-1}) \sim N[Z_j(k); Z_j(k-1), S_t] \\ * f_t(V_j; Y^{k-1}) \sim N[V_j(k); V_j(k-1), R_t] \\ * V: v_{ij} = z_{ij} \\ * S_t \ll R_t \end{array} \right.$$

여기서,  $V$ 는 각 측정데이터가 존재하는 표적 중  $t$ 번째 표적의 측정 데이터라는 가정하에 구한 속도벡터 값이며, 일반적으로 올바른 측정 데이터에 의한 속도 벡터값의 covariance  $R_t$ 는 측정 데이터의 covariance  $S_t$ 의 값보다 작기 때문에 본 논문에서는 계산량을 줄이기 위해 10분의 1 정도의 값을 취했다.

식(4)와 (7)로부터 알 수 있듯이 측정 데이터만을 이용하면, 예측된 위치에서 가장 가까운 위치에 있는 측정 데이터의 연관 확률이 가장 크게 되어 서로 작은 각으로 교차하는 두 표적인 경우 한 표적의 측정 데이터와 다른 표적의 궤도 사이의 연관 확률이 올바른 측정 데이터와 연관될 확률보다 상당히 커져서 추적 오류가 발생하게 된다. 그러나 연관 확률을 식 (7)과 같이 바꾸어 줌으로써 측정 데이터가 아무리 예측된 위치에 가까이 있어도 속도 변화가 가장 작은 측정 데이터 성분만이 표적의 다음 위치를 예측하는데 많은 부분을 차지하기 때문에 서로 작은 각으로 교차하는 표적에 대해서도 궤도 오차없이 표적의 궤도를 추적할 수 있었다. 또한 서로 평행하게 움직이는 두 표적에 대해서도 다른 표적의 측정데이터가 표적의 궤도에 미치는 영향이 상대적으로 작기 때문에 track bias 현상이 상대적으로 작아져서 추적 오류를 없앨 수 있다.<sup>9)</sup>

그림1은 clutter나 배경 잡음이 없는 이상적인 환경에서 같은 속도로 평행하게 움직이는 두 표적중 한 표적이 다른 표적의 측정 데이터와 연관된 확률을 나타낸 그래프이다. 두 표적은 0.2Km/scan의 일정한 속도로 서로 평행하게 움직이고 있다고 가정했으며, 그래프에서 가로축은 두 표적 간의 거리(Km)를 나타내며, 세로축은 한 표적과 다른 표적의 측정 데이터 사이의 연관확률을 나타낸다.

그림1로 부터 알 수 있듯이 JPDA 알고리즘과 확장된 JPDA 알고리즘의 유효 영역은 0.375Km 정도

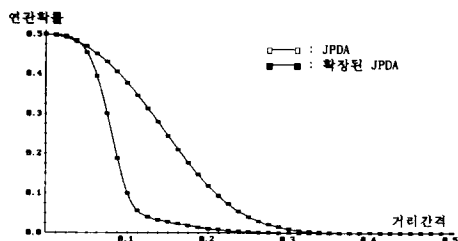


그림 1. 연관 확률

Fig. 1. Association probability.

로 일치하지만, 확장된 JPDA 알고리즘의 경우 다른 표적과 연관될 확률값이 상대적으로 작기 때문에 다른 표적의 측정 데이터에 의한 track bias 현상이 줄어서 서로 평행하게 진행되는 표적에 대한 추적 오류를 없앨 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 추적 시뮬레이션

##### 1. 잡음 모델

실제 상황에서 표적 주변에는 표적의 maneuvering에 의해 또는 여러개의 측정 센서를 사용하기 때문에 여러개의 측정 데이터가 검출되어 표적 추적 장치가 표적의 궤도를 추적하지 못하는 추적 오류가 발생된다. 또한, 측정 데이터에는 clutter와 같은 배경 잡음이 포함되어져 있기 때문에 clutter의 영향으로 추적 장치의 추적 능력이 떨어지게 된다.

그러므로, JPDA 알고리즘은 추적 궤도와 측정 데이터 사이의 연관 확률을 가중치로 사용해서 궤도를 추적해 나아가기 때문에 clutter에 의한 측정 데이터가 검출되어도, 이것과 궤도와 연관 확률은 매우 작아서 clutter에 의한 측정 데이터들은 궤도를 update 시키는데 적은 영향만을 주게 되어 전체적인 추적 능력이 향상된다. 또한, 표적의 maneuvering에 의해 검출된 데이터도 표적의 다음 상태를 예측하는데 연관 확률에 비례하는 크기 만큼만 작용하기 때문에 잘못된 궤도를 만들지 못하게 된다. 그런데 JPDA 알고리즘에서는 표적이 maneuvering을 하는 경우 covariance값이 증가되기 때문에 clutter의 영향을 많이 받게되어 추적 오류가 발생하게 된다. 그러나, 새로이 제시된 확장된 JPDA 알고리즘에서는 연관 확률에 속도 파라미터를 포함시킴으로써 이러한 문제를 극복할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 JPDA와 확장된 JPDA 추적 알고리즘을 비교, 분석하기 위해 그림 2(a)와 같이 표적이 실제 움직이는 궤도의 측정 데이터에 난수발생기(random number generator)를 이용하여 그림 2(b)처럼 maneuvering 및 clutter 잡음을 첨가하여 사용하였다.

그림2(a)에서  $\circ$ 는 표적 궤도의 측정 데이터를 나타내며,  $\dots$ 는 표적의 실제 이동 경로를 나타낸다. 그림2(b)는 그림2(a)의 측정 데이터에 표적의 maneuvering과 표적 가까이 있는 clutter나 다른 표적에 의해 검출된 데이터를 첨가시켜서 S/N비가 약 3dB 정도가 되게 만든 다음, 다시 clutter에 의해 검출될 수 있는 데이터를 첨가시켜서 S/N 비가 약 -6dB 정도가 되게 만든 것이다.

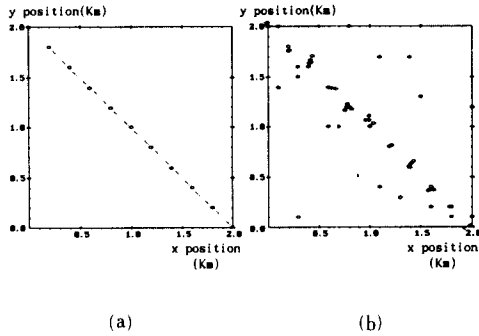


그림 2. 잡음 모델 생성  
 (a) 측정 데이터  
 (b) maneuvering 및 clutter에 의한 잡음  
 Fig. 2. Noise model generation.  
 (a) mensurement data,  
 (b) maneuvering and clutter noises.

위와 같은 잡음 모델을 가정하여 실제 상황에서 검출될 수 있는 측정 데이터와 유사한 데이터를 만들어서 JPDA 알고리즘과 새로운 확장된 JPDA 알고리즘 사이의 추적 수행 능력을 비교, 분석하는데 사용하였다.

2. 추적 시스템 구성 및 결과 고찰

본 논문에서는 새로이 제시된 확장된 JPDA 알고리즘을 이용하여 구성한 실시간 이동 표적 추적 시스템의 구성도를 살펴보면 그림3과 같다. 여기서, 입력 표적 측정 데이터는 레이더, 광, Senar 등과 같은 능동 소자로 부터 측정된 데이터를 이용하여 검출된 데이터는 전처리를 거쳐서 표적의 위치에 대한 측정 데이터로 사용되어 진다.

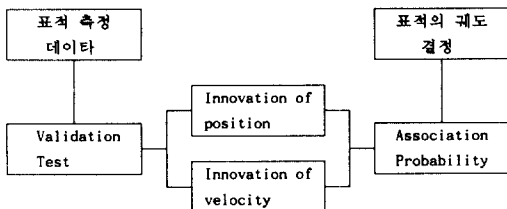


그림 3. 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 실시간 이동 물체 추적 시스템  
 Fig. 3. Real-time moving target tracking system using extended JPDA algorithm.

그림3은 JPDA 알고리즘을 이용한 일반적인 이동 표적 추적 시스템의 블록선도와 유사한데, 본 논문에서는 표적과 측정 데이터 사이의 연관 확률을 구하는데 있어서 JPDA 알고리즘과 달리 속도 파라미터도 연관 확률을 구하는 식에 포함시킴으로써 표적의 궤도 추적 능력을 크게 향상시킬 수 있었다.

본 논문에서 새로이 제시된 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 실시간 이동 표적 추적 시스템을 가지고 다양한 환경에서 행한 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 살펴보면 다음과 같다. 이러한 확장된 JPDA 알고리즘의 궤도 추적 능력을 기존의 JPDA 알고리즘의 궤도 추적 능력과 비교, 분석하기 위해서 표적의 여러 이동 경로에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 함께 도시하였다.

(1) Track bias

일반적으로, JPDA 알고리즘의 단점중의 하나는 서로 평행하게 움직이는 두 표적이 존재하는 경우에 track bias 현상이 발생되어 두 표적의 궤도가 서로의 궤도를 끌어 당겨서 결국엔 하나의 궤도로 합쳐지거나, 두 궤도의 중간값으로 궤도를 설정하는 coalescence 현상이 발생하는 것이다. 새로이 제시된 확장된 JPDA 알고리즘은 그림1에서 알 수 있듯이 서로 평행하게 움직이는 두 표적에 대하여 한 표적이 다른 표적의 측정 데이터와 연관될 확률이 작기 때문에 두 표적 사이의 track bias가 작아져 coalescence 현상을 크게 줄일 수 있다.

그림4(a)는 서로 평행하게 움직이는 두 표적에 대하여 JPDA 알고리즘의 수행 결과로써 track bias에

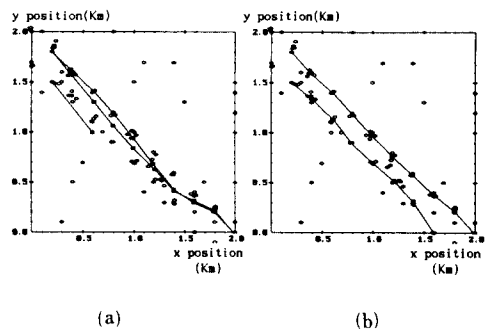


그림 4. 평행하게 움직이는 두 표적  
 (a) JPDA 알고리즘 추적 결과  
 (b) 확장된 JPDA 알고리즘의 추적 결과  
 Fig. 4. Parallel moving two targets.  
 (a) tracking result of JPDA algorithm,  
 (b) tracking result of extended JPDA algorithm.

의해 두 표적이 서로 끌리어서 결국, 하나의 궤도만을 그리게 된다. 이 실험에 사용한 측정 데이터는 서로 평행하게 움직이는 두 표적에 대한 데이터의 앞에서 가정한 잡음을 추가시켜서 만든 것이다. 그림4(b)는 같은 가정하에 확장된 JPDA 알고리즘의 수행 결과로써 두 궤도간의 track bias가 작기 때문에 coalescence 현상이 일어나지 않아서 원만한 궤도 추적 결과를 가지고 있음을 보여주고 있다.

## (2) 교차 표적 추적

기존의 추적 장치에서 문제가 되는 것은 서로 교차하는 두 표적의 궤도를 추적하고자 하는 경우 교차하는 순간에 궤도가 서로 바뀌거나, 두 궤도중 하나의 궤도만을 추적하는 등의 추적 오류가 발생한다는 것이다. 그림5는 두 표적이 서로 교차하는 경우의 시뮬레이션 결과로써 그림5(a)와 (b)는 두 표적의 교차각이 큰 경우이고, 그림5(c)와 (d)는 두 표적의 사이의 교차각이 작은 경우에 JPDA와 확장된 JPDA 알고리즘 각각의 추적 결과를 나타낸 것이다.

그림5의 (a)와 (b)로부터 알 수 있듯이 두 표적간의 교차각이 큰 경우 즉, 두 표적간의 상대속도가 큰 경우에 JPDA와 확장된 JPDA 알고리즘의 추적 결과는 유사하게 나타났다. 그러나, 그림5(c)와 (d)와 같이 교차각이 작은 경우 즉, 두 표적간의 상대속도가 작은 경우에는 기존의 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 장치는 두 궤도중 하나의 궤도만을 추적하는 추적 오류가 발생하나, 그림5(d)처럼 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 장치는 추적 오류가 발생하지 않음을 알 수 있다. 즉, 두 표적간의 교차각이 큰 경우에는 한 표적의 궤도가 다른 표적의 측정 데이터와 연관될 확률이 JPDA와 확장된 JPDA 모두 작기 때문에 두 알고리즘의 추적 능력차는 없으나, 두 표적간의 교차각이 작은 경우에 확장된 JPDA 알고리즘의 연관 확률이 JPDA 알고리즘의 연관 확률보다 작기 때문에 뛰어난 추적 능력을 가지고 있음을 알 수 있다.

표적 추적 알고리즘의 수행 능력을 비교, 평가하기 위해 자주 사용되어 지는 표적의 궤도는 그림5와 같은 두 표적의 궤도가 서로 교차하는 경우와 그림6처럼 서로 교차하는 표적과 유사한 궤도를 가지고 있으나 서로 교차하지는 않는 경우이다.

그림6(a)는 잡음을 포함시키지 않은 두 표적의 위치에 대한 측정 데이터만을 가지고 행한 JPDA 알고리즘의 시뮬레이션 결과이다. 그림6(a)로부터 알 수 있듯이 두 표적의 궤도가 서로 교차함을 알 수 있다. 그림6(b)는 같은 데이터를 가지고 행한 확장된 JPDA 알고리즘의 수행 결과인데, 그림으로 부터 알

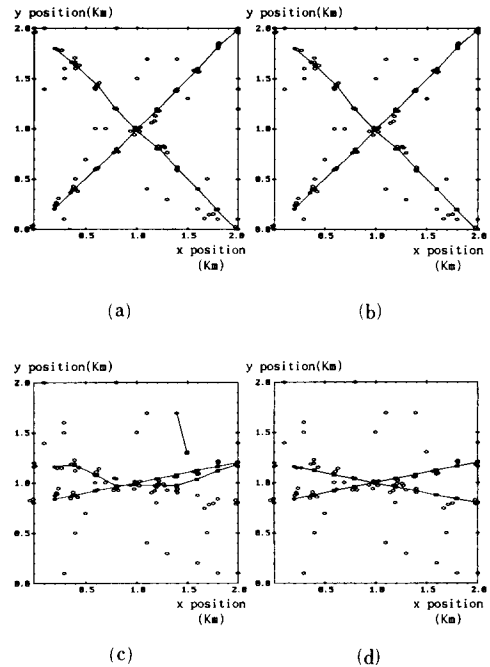


그림 5. 서로 교차하는 두 표적

- (a) 교차각이 큰 경우의 JPDA 추적 결과
- (b) 교차각이 큰 경우의 확장된 JPDA 추적 결과
- (c) 교차각이 작은 경우의 JPDA 추적 결과
- (d) 교차각이 작은 경우의 확장된 JPDA 추적 결과

Fig. 5. Crossing two targets.

- (a) JPDA tracking result of crossing targets with large crossing angle,
- (b) extended JPDA tracking result of crossing targets with large crossing angle,
- (c) JPDA tracking result of crossing targets with small crossing angle,
- (d) extended JPDA tracking result of crossing targets with small crossing angle.

수 있듯이 track bias 현상이 일어나지 않기 때문에 두 표적의 궤도가 서로 교차하는 추적 오류없이 궤도를 추적할 수 있음을 알 수 있다. 그림6(c)는 위의 데이터에 잡음을 포함시켜서 만든 측정 데이터를 가지고 행한 JPDA 알고리즘의 시뮬레이션 결과인데, 잡음에 의해 새로운 궤도가 그려지고, 또한 track bias에 의한 두 궤도중 한 궤도를 추적할 수 없음을 알 수 있다. 그림6(d)는 같은 데이터를 가지고 행한 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 결과인데, 그

림으로부터 알 수 있듯이 track bias없이 표적을 추적할 수 있음을 알 수 있다.

(3) Maneuvering 표적

JPDA 알고리즘에서 표적의 회전등과 같은 maneuvering을 하는 경우에 추적이 진행됨에 따라 표적의 covariance 값이 커짐으로써 clutter에 민감해지는 등의 문제점이 있으나, 확장된 JPDA 알고리즘은 연관 확률을 구하는데 속도 파라미터를 포함시킴으로써 표적의 궤도를 추적해 나아가는데, clutter에 의한 영향을 받는 문제를 극복할 수 있다. 그림7은 표

적이 추적 장치를 교란시키기 위해 회전하는 경우에 JPDA와 확장된 JPDA 알고리즘의 추적 결과를 나타낸 것이다.

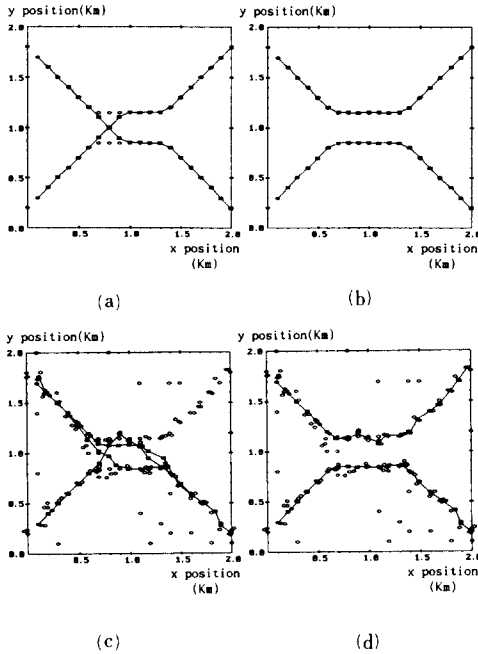


그림 6. 교차하지 않는 표적  
 (a) 교차하지 않는 표적의 JPDA 추적 결과  
 (b) 교차하지 않는 표적의 확장된 JPDA 추적 결과  
 (c) clutter 존재시 교차하지 않는 표적의 JPDA 추적 결과  
 (d) clutter 존재시 교차하지 않는 표적의 확장된 JPDA 추적 결과

Fig. 6. Noncrossing targets.  
 (a) JPDA tracking result of noncrossing targets,  
 (b) extended JPDA tracking result of noncrossing targets,  
 (c) JPDA tracking result of noncrossing targets with noise,  
 (d) extended JPDA tracking result of noncrossing targets with noise.

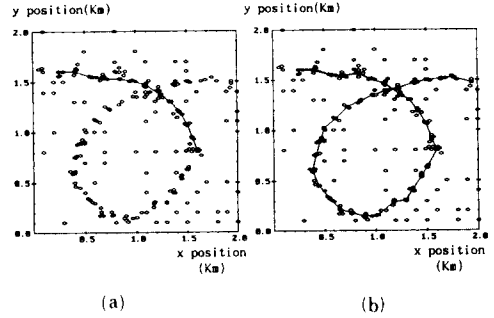


그림 7. 회전하는 표적  
 (a) 회전하는 표적의 JPDA 추적 결과  
 (b) 회전하는 표적의 확장된 JPDA 추적 결과

Fig. 7. Turning target.  
 (a) JPDA tracking result of turning target  
 (b) extended JPDA tracking result of turning target.

그림7(a)는 회전하는 표적에 대한 JPDA 알고리즘의 추적 결과인데 처음엔 covariance값이 증가되서 표적의 궤도를 오차없이 추적할 수 있으나 곧 clutter의 영향을 받아 표적을 추적할 수 없는 추적 오류가 발생함을 알 수 있다. 그림7(b)는 확장된 JPDA 알고리즘을 이용한 추적 결과로서 연관 확률을 구하는데 있어서 속도 파라미터도 포함시켰기 때문에 covariance의 값을 크게 증가하지 않아서 표적의 궤도를 추적해 나가는데 clutter의 영향을 적게 받아서 표적의 궤도를 추적하는데 발생하는 오차가 작다.

V. 결 론

본 논문에서는 표적과 측정 데이터가 연관될 확률을 구하는데 있어서 측정 데이터를 그대로 이용하는 기존의 JPDA 알고리즘과 달리 측정 데이터가 존재하는 표적 중의 하나는 측정 데이터라는 가정하에 속도 파라미터를 구해서 연관 확률을 구하는데 포함시킴으로써 서로 작은 각으로 교차하는 두 표적에 대해서 추적 오류를 줄일 수 있으며, maneuvering하는 표적에 대해서도 covariance값의 값이 크게되지 않아서 clutter에 의한 추적 오류가 발생하지 않는 새로운 추적 알고리즘으로써 확장된 JPDA 궤도 추적

알고리즘을 제안하였다.

따라서 본 논문에서 새로이 제시된 확장된 JPDA 알고리즘을 이용하여 실시간 이동 표적 추적 시스템을 구성하게 되면 clutter에 의한 영향이 작기 때문에 추적 오차를 줄일 수 있으며, 서로 작은 각으로 교차하거나 평행한 궤도를 갖는 경우에도 추적 오류 없이 두 표적의 궤도를 추적할 수 있는 실시간 다중 이동 표적 추적 시스템 구성이 가능하리라 분석된다.

### 參 考 文 獻

- [1] Chaw-Bing Chang and John A. Tabaczynski, 'Application of state estimation to target tracking,' *IEEE*, vol. AC-29, no. 2, pp. 98-109, 1984.
- [2] Yaakov Bar-Shalom and Edison Tse, "Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association," *Automatica*, vol. 11, pp. 451-460, 1975.
- [3] Thomas E. Fortmann, Yaakov Bar-Shalom, and Molly Scheffe, "Sonar tracking of multiple targets using joint probabilistic data association," *IEEE*, vol. OE-8, no. 3, pp. 173-184, 1983.
- [4] James L. Fisher and David P. Casasent, "Fast JPDA multitarget tracking algorithm," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 2, pp. 371-376, 1989.
- [5] Robert J. Fitzgerald, "Track biases and coalescence with probabilistic data association," *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, vol. AES-21, pp. 822-825, November, 1985.
- [6] Yaakov Bar Shalom, *Multitarget-multisensor tracking: advanced application*, Artech House, 1990
- [7] Sung-Bae Kim and Eun-Soo Kim, "Real-time moving target tracking system using JPDA algorithm," *Proc. of KITE conference*, vol. 14, no. 1, pp. 507-509, 1991.
- [8] Young Sun Shin, Sung-Bae Kim and Eun-Soo Kim, "JPDA tracking algorithm based on target position and velocity parameters," *Proc of KITE Conference*, vol. 14, no. 2, pp. 532-534, 1991.
- [9] Eun Soo Kim, "OptoNeural Processor for multi-target tracking," *IEEE/LEOS '91 Conference*, San Jose, California, U.S.A., 1991.
- [10] A.K. Mahalanabis, B. Zhou and N.K. Bose, 'Improved multitarget tracking in clutter by PDA smoothing,' *IEEE Trans. AES* vol 26, no. 1, 1990.

### 著 者 紹 介

金城培 (準會員) 第27卷 第8號 參照  
현재 광운대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중.

尹尚老 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照  
현재 국방과학연구소 연구실장 및 책임연구원

方昇哲 (正會員) 第28卷 第3號 參照  
현재 광운대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중.

金恩洙 (正會員) 第28卷 A編 第8號 參照  
현재 광운대학교 전자공학과 부교수