

레이다 항적융합 연구의 최근 동향

A Survey on Track Fusion for Radar Target Tracking

최 원 용* **홍 순 목*** **이 동 관**** **정 재 경****
 Choi, Won-Yong Hong, Sun-Mog Lee, Dong-Gwan Jung, Jae-Kyung

ABSTRACT

An architecture for multiple radar tracking systems can be broadly categorized according to the methods in which the tracking functions are performed : central-level tracking and distributed tracking. In the central-level tracking, target tracking is performed using observations from all radar systems. This architecture provides optimal solution to target tracking. In distributed tracking, tracking is performed at each radar system and the composite track information is formed through track fusion integrating multiple radar-level tracks. Track-to-track fusion and track-to-track association are required to perform in this architecture. In this paper, issues and recent research on the two tracking architectures are surveyed.

주요기술용어(주제어) : Multiple Radars(다중 레이더), Distributed Tracking Architecture(분산형 추적 구조), Track Fusion(항적융합), Track Association(항적연관)

1. 머리말

최근의 방공체계는 다중 레이더로 구성되는 망 중심 형태로 발전하고 있다. 이는 다중 레이더를 통해 획득된 표적정보의 처리와 융합을 통해, 표적 탐지 및 추적 등에서의 높은 신뢰성을 보장하고 통합 표적 정보를 통해 효율적인 광역 작전 수행 능력을 보장하기 위한 것이다. 이러한 발전 방향에 맞추어 다중 레이더를 이용한 체계에 다표적 추적 및 동시교전 능력

을 보장하기 위해서는, 표적정보 처리 및 융합 문제에 대한 종합적 접근과 해법이 요구된다.

다중 레이더의 표적정보를 처리하는 체계의 구조는 크게 중앙 집중형 추적 구조와 분산형 추적 구조로 나눌 수 있다. 모든 레이더의 표적정보를 융합센터에서 받아 처리하는 중앙 집중형 추적 구조에서 이론적으로 가장 정확한 추적이 이루어 질 수 있다. 그러나 체계의 제한된 조건 등의 이유로 일반적으로 각 레이더 체계에서 표적 정보를 분산처리하고 여기서 얻은 항적정보를 융합센터로 전송하게 된다. 융합센터는 분산처리된 항적정보를 바탕으로 항적융합을 수행하는데 이 방식을 분산형 추적 구조라고 한다^[1,2].

중앙 집중형 추적 구조는 앞에서 언급한 바와 같이 정확한 다표적 추적이 가능하다는 장점이 있지만, 항적정보만 제공되는 체계와의 연동에 대한 문제점과

† 2007년 11월 29일 접수~2008년 2월 1일 게재승인

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of EECS, Kyungpook National University)

** 국방과학연구소(ADD)

교신저자 이메일 smhong@ee.knu.ac.kr

연이 발생하게 되고, 표적정보는 표적측정 시간 순서대로 융합센터에 도착하지 않는 경우가 발생하게 된다. 이러한 표적측정을 OOSM(Out-Of-Sequence Measurements)이라 하는데, 이 결과는 통신지연 이외에 다른 요소에 의해서도 발생할 수 있다. 즉, 표적정보를 일정시간 동안 모아 융합센터로 전송하는 경우 등이 이에 해당한다. 이러한 OOSM 표적정보를 효율적으로 처리하는 일을 OOSM 처리라 하는데 표적정보를 처리하는 중앙 집중형 추적 구조의 다중 레이다 체계에서 해결해야 하는 중요한 문제로 최근에 많은 연구가 수행되고 있다.

OOSM 처리의 가장 직관적인 한 방법은 표적정보 처리를 최대 예상 지연 시간만큼 지연시켜 수행하는 것이다. 이를 통해 그 사이에 저장된 메모리 버퍼의 표적측정을 시간 순서대로 나열하여 OOSM 문제가 없도록 하여 처리하는 것이다. 그러나 이런 방법에서는 많은 메모리와 데이터 관리, 그리고 추적 결과가 시간지연을 갖고 출력되어야 하는 문제가 발생한다. 최근 시간지연 없이 따로 표적정보를 저장하지 않고 효과적으로 OOSM 처리를 수행하는 방법에 대해서 필터링 문제를 중심으로 많은 연구가 진행되었다. 관련 연구는 현재까지도 활발하게 진행되고 있으며, 추적문제에 대한 적용은 아직 초기단계에 있는 것으로 보인다^[4~6]. 우선, [7]에서는 지연된 측정이 최근의 두 측정 시간 사이에 이루어진 경우에 대해 OOSM을 처리할 수 있는 최적의 방법을 제시하고, 몇 가지 예를 통해서 준최적 방식과 성능을 비교하였다. 준최적 방식은 표적상태벡터의 추정과 공분산행렬을 과거로 거슬러 계산하는 과정을 간략화한 것으로, 최적에 가까운 성능을 보였다. 이는 준최적 방식이 최적 방법보다 실용적임을 의미한다.

참고문헌 [8]에서는 지연된 측정이 최근의 l 개 측정 이전에 이루어진 경우에 대해, 즉 l -step($l > 1$) 지연에 대한 문제를 역시 준최적 방식으로 다루었다. 이 방식은 l -step에 각각 대응되는 필터이득과 측정행렬의 함수인 행렬의 순열을 저장하고 있어야 하는 단점을 갖고 있다. [9]와 [10]에서도 일반적인 지연에 대한 OOSM 처리 문제를 다루었는데, 이 방법들은 많은 메모리와 l 번 반복수행이 요구되는 처리과정이 필요하다. [11]에서는 [7]의 최적 알고리즘과 준최적

알고리즘을 l -step 지연에 적합하도록 변형하였다. 변형된 알고리즘은 모든 측정을 시간순서대로 처리했을 때의 결과와 거의 차이가 없는 평균제곱오차를 보였다. 그리고, 공분산의 계산도 평균제곱오차에 대해 거의 일치(consistent)하는 결과를 보였다.

앞에서 언급한 OOSM 처리 방법들은 칼만필터나 확장칼만필터에 적용한 경우이다. [12]에서는 기동 표적의 상태 추정을 위해 IMM(Interacting Multiple Model) 필터를 사용하는 경우의 OOSM 처리 문제를 다루었다. [12]에서도 [11]의 변형된 준최적 알고리즘을 이용하여 OOSM 처리를 수행하였다. 변형된 준최적 알고리즘을 적용한 IMM 필터의 실용성은 OOSM을 시간순서대로 재배열하고 처리하여 얻은 최적 결과와의 비교실험을 통하여 확인하였다.

4. 분산형 추적의 연구 동향

분산형 추적 구조에서 표적추적에 대한 최근의 연구는 항적연관과 항적융합에 집중되어 있다. 특히, 동일 표적의 운동에서 비롯된 다중 레이다 항적추정오차 사이의 교차공분산을 근사화하여, 이를 이용하는 항적 데이터 연관과 융합 방식에 대한 연구가 최근 진행되고 있다.

그림 2의 예와 같은 분산형 추적 구조에서는 항적융합을 위해서 먼저 항적-항적 연관(동일한 표적에서 비롯된 항적인지 판단하는 작업)을 수행해야 한다. 항적-항적 연관은 연관비용 함수를 정의하고 이 비용을 최소화하도록 항적을 대응시키게 된다. 이 문제의 핵심은 연관비용을 정의하기 위한 기준을 선택하고, 이 기준에 따라 정의된 연관비용 함수를 최소화 하는 해를 구하는 방식에 있다.

항적-항적 연관 단계를 거친 다음에는 동일한 표적으로 비롯된 항적들에 대해서 항적정보(표적상태벡터의 추정과 공분산행렬)의 융합을 수행하게 된다. 이 과정을 항적-항적융합이라 하고, 여기서 융합된 최종적인 표적상태벡터의 추정을 얻게 된다. 각 레이다 체계에서 표적정보를 분산처리해서 얻은 표적 상태벡터의 추정에는 추정오차의 상관성이 존재한다. 이는 동일 표적의 기동에서 비롯된 공통의 과정잡음

(common process noise) 때문이다^[13,14]. 이러한 항적 오차의 상관성을 고려해 주려면 교차공분산행렬을 계산하여야 한다.

여기서는 분산형 추적 구조의 항적융합에서 발생하는 항적-항적 연관 문제, 항적-항적 융합 문제, 그리고 이 과정에서 요구되는 교차공분산행렬의 근사화 문제를 기술하고 관련 연구 동향을 정리하였다.

가. 항적-항적 연관

분산형 추적 구조에서 각 레이다는 독자적으로 표적을 추적하여 일정 시간마다 융합센터로 항적정보를 전송한다. 그리고 융합센터에서는 어느 항적정보가 동일한 표적에서 비롯된 것인지를 결정하는 항적-항적 연관을 수행하게 된다. 이 과정은 우도비(likelihood ratio)의 함수로 표현되는 연관비용 함수를 최소화하는 할당(assignment) 문제로 정의될 수 있다^[15].

두 대의 추적체제로 구성된 분산형 추적 구조의 항적연관은 이미 많은 연구가 이루어졌다. 초기에는 항적오차가 서로 독립적이라고 가정하고 항적연관문제를 다루었다. [13], [14]에서는 각각 항적연관과 항적 융합 과정에서 각 레이다 항적정보 사이에 존재하는 항적오차의 상관성을 반영하였다. 최근에 와서 N ($N > 2$)개의 추적체제로 구성된 분산형 추적 구조에서의 최적 연관 기법에 대한 연구가 이루어지고 있다. [16]에서는 항적의 오차가 서로 독립적이라고 가정하고 우도함수를 유도하였다.

항적오차의 상관성을 고려한 일반적 항적-항적 연관 문제는 [15]에서 다루어졌다. 여기서는 우도비의 함수로 표현되는 연관비용 함수를 유도하고 이를 최소화하는 할당 문제로 항적-항적 연관 문제를 정리하였다. 항적연관에 우도함수 대신에 우도 비를 도입하였다는 점이 이 논문의 중요한 결과가 된다. 이와 관련된 일부 수치실험 결과는 [17]에서 찾아 볼 수 있다.

N 개의 추적기에 대한 연관문제는 N 차원 할당문제가 되고, 이는 제약된 최적화(constrained optimization) 문제의 최적해를 구하는 것과 같다. 이 최적화 문제를 다음의 이진 할당 변수 $\chi_{i_1, i_2, \dots, i_N}$ 에 대해 기술해보면 다음과 같이 정리된다^[15]. 여기서, i_k ($k=1, \dots, N$)은 k 번째 레이다의 i 번째 항적을 의미한다.

$$\chi_{i_1, i_2, \dots, i_N} = \begin{cases} 1 & \text{항적 } i_1, i_2, \dots, i_N \text{이 같은 표적으로} \\ & \text{부터 비롯된 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (1)$$

위의 색인(index) 집합 $\{i_1, i_2, \dots, i_N\}$ 에서 일부 색인은 0이 될 수도 있다. 이것은 그 색인에 해당하는 레이다에는 지금 고려하고 있는 표적에 대한 항적이 없음을 의미한다.

$$\min \sum_{i_1=0}^{N_1} \sum_{i_2=0}^{N_2} \dots \sum_{i_N=0}^{N_N} C_{i_1, i_2, \dots, i_N} \chi_{i_1, i_2, \dots, i_N} \quad (2)$$

여기서 C_{i_1, i_2, \dots, i_N} 는 할당비용 함수로 우도비 L_{i_1, i_2, \dots, i_N} 에 대해 다음과 같이 정의된다. 우도비의 유도는 참고문헌 [15]에 자세히 기술되어 있다.

$$C_{i_1, i_2, \dots, i_N} = -\ln L_{i_1, i_2, \dots, i_N} \quad (3)$$

식 (2)의 최적화 문제에 대한 제약조건은 다음과 같다. 여기서 N_k 는 k 번째 레이다에서 발생한 항적의 수이다.

$$\begin{aligned} \sum_{i_2=0}^{N_2} \dots \sum_{i_N=0}^{N_N} \chi_{j i_2 \dots i_N} &= 1, \quad j=1, \dots, N_1 \\ \sum_{i_1=0}^{N_1} \sum_{i_3=0}^{N_3} \dots \sum_{i_N=0}^{N_N} \chi_{i_1 j \dots i_N} &= 1, \quad j=1, \dots, N_2 \\ &\dots \dots \\ \sum_{i_1=0}^{N_1} \dots \sum_{i_{N-1}=0}^{N_{N-1}} \chi_{i_1 i_2 \dots i_{N-1} j} &= 1, \quad j=1, \dots, N_N \\ \chi_{i_1 i_2 \dots i_N} &\in \{0, 1\} \\ i_1 &= 0, 1, \dots, N_1, \quad i_2 = 0, 1, \dots, N_2, \dots, \quad i_N = 0, 1, \dots, N_N. \end{aligned} \quad (4)$$

이 문제는 제약된 정수 프로그래밍(constrained integer programming) 문제로 일반적으로 NP-hard이다. 하지만, Lagrangian relaxation을 통해서 준최적해를 효과적으로 구할 수 있다^[1, Chap. 2]. N 이 2일 경우는 Auction 이나 JVC 알고리즘 [1, Chap. 2]을

이용하여 풀거나, integer constraint relaxation을 통한 선형계획법(linear programming)으로 최적해를 구하게 된다^[18].

나. 항적-항적 융합

항적-항적 연관이 이루어지면, 동일 표적으로부터 비롯된 항적들의 항적-항적 융합을 통해 최종적인 융합항적 자료, 즉 표적 상태벡터의 추정을 얻는다. 표적 상태벡터의 융합은 일반적으로 ML(Maximum Likelihood)추정을 통해 얻게 된다. 이 방법은 최적의 추정으로 추정기 $i = 1, \dots, N$ 에서 받은 표적 상태벡터의 추정을 이용하여 다음과 같이 계산한다^[17].

$$x_{f,N} = R_{f,N} \mathbf{I}_N^T \mathbf{R}_N^{-1} \mathbf{x}_N \quad (6)$$

여기서, $R_{f,N}$ 은 융합된 항적의 공분산행렬이다.

$$R_{f,N} = (\mathbf{I}_N^T \mathbf{R}_N^{-1} \mathbf{I}_N)^{-1} \quad (7)$$

\mathbf{x}_N 은 $MN \times 1$ 의 크기를 가지는 벡터인데 항적 i 의 상태추정 벡터 $x_i (i = 1, \dots, N)$ 를 수직으로 배열한 것이다. 여기서, M 은 항적 상태벡터의 성분 수이다. 그리고, \mathbf{I}_N 은 $MN \times M$ 의 크기를 가지는 행렬로 크기가 $M \times M$ 인 단위행렬 N 개를 수직으로 배열한 것이다. 항적 $x_i (i = 1, \dots, N)$ 를 수직 배열하면 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{x}_k = [x_1^T x_2^T \dots x_k^T]^T \quad (8)$$

\mathbf{x}_k 의 공분산행렬은

$$\mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1k} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{k1} & R_{k2} & \dots & R_{kk} \end{bmatrix} \quad (9)$$

와 같이 표현한다. 위에서 $\mathbf{I}_k = [I_M \ I_M \ \dots \ I_M]^T$ 이고, I_M 은 크기가 $M \times M$ 인 갖는 단위행렬이다.

항적들이 서로 독립적인 경우, ML 융합은 다음과

같이 간단하게 표현된다.

$$x_{f,N} = R_{f,N} \sum_{i=1}^N R_{ii}^{-1} x_i \quad (10)$$

여기서, $R_{f,N}$ 은 융합된 표적상태벡터의 공분산 행렬로서 다음과 같다.

$$R_{f,N} = \left(\sum_{i=1}^N R_{ii}^{-1} \right)^{-1} \quad (11)$$

식 (6)과 (7)을 검토해 보면 CT(Correlated Track)의 경우 융합의 연산 복잡도는 $O(N^3 M^3)$ 임을 알 수 있다. 항적오차의 상관성을 무시한 IT(Independent Track) 융합에서는 N 개의 $M \times M$ 행렬의 역행렬을 구해야 하므로 연산 복잡도는 $O(NM^3)$ 이 된다. 따라서 IT 융합에 대한 CT 융합의 연산 복잡도의 비는 N^2 임을 알 수 있다.

다. 교차공분산행렬의 근사화

항적-항적 연관 및 융합에서 공통 과정잡음에 의한 추정오차간의 상관성을 반영하기 위해서는 이를 표현하는 항적간 교차공분산행렬이 필요하다^[13]. 그러나 현실적으로 교차공분산행렬을 계산하는 것은 매우 부담이 크기 때문에 근사적으로 교차공분산행렬을 얻는 방법을 이용하게 된다. [19]에서는 상태벡터의 x 와 y 성분이 서로 결합되어 있지 않은 경우에 대해서 교차공분산행렬을 근사적으로 구하는 방법을 제안하고 있다.

참고문헌 [19]의 방식에 기초하여 [17]에서는 상태벡터의 x, y, z 성분이 서로 결합되어 있는 경우에 대한 근사적인 교차공분산행렬 계산법을 제안하였다. 제안된 교차공분산행렬을 근사화하는 방법은 두 가지로 단일 매개변수(one-parameter)를 사용하는 방법과 두 개의 매개변수(two-parameter)를 사용하는 방법이다. 단일 매개변수 방법은 레이다 i 와 j 의 상태벡터 오차의 교차공분산을 표현하기 위해서 다음과 같이 하나의 상관 계수 ρ 를 사용한다.

$$\widetilde{R}_{ij} = \rho A_{ii} A_{jj}^T \quad (12)$$

여기서, $A_{ii}A_{ii}^T = R_{ii}$, $i = 1, \dots, N$, 이다. A_{ii} 를 구하는 방법으로는 Hermitian 해를 얻는 “행렬 제곱근(matrix square root)”방법과 Cholesky 분해법을 사용하여 제곱근 행렬을 얻는 “Cholesky” 방법이 제안되었다.

두 개의 매개변수 근사화 방법에서는 상태 벡터의 위치와 속도 성분에 대해 상관계수를 분리하여 따로 얻게 된다. i 번째 레이더의 오차 공분산 행렬은 다음 식과 같이 위치 p , 속도 v , 그리고 교차 성분에 대해 각각 3×3 행렬인 블록으로 구성된다.

$$\widetilde{R}_{ii} = \begin{bmatrix} R_{ii,p} & R_{ii,pv} \\ R_{ii,pv}^T & R_{ii,v} \end{bmatrix} \quad (13)$$

레이더 i 와 j ($i \neq j$)간의 교차공분산행렬에서 두 개의 매개변수를 사용한 근사형태는

$$\widetilde{R}_{ij} = \begin{bmatrix} \rho_{11}A_{ii,p}A_{jj,p}^T & \sqrt{\rho_{11}\rho_{22}}A_{ii,p}A_{jj,v}^T \\ \sqrt{\rho_{11}\rho_{22}}A_{ii,v}A_{jj,p}^T & \rho_{22}A_{ii,v}A_{jj,v}^T \end{bmatrix} \quad (14)$$

와 같다. 여기서, $A_{ii,p}A_{ii,p}^T = R_{ii,p}$, $A_{ii,v}A_{ii,v}^T = R_{ii,v}$ 이다. $A_{ii,p}$ 와 $A_{ii,v}$ 는 단일 매개 변수의 경우와 같은 방법으로 구한다.

교차 공분산 근사식을 이용해서 구한 융합항적의 오차공분산 행렬은 식 (9)의 R_{ij} 를 \widetilde{R}_{ij} 로 대체한 것으로 다음과 같다.

$$\widetilde{R}_f = (\mathbf{I}_N^T \widetilde{\mathbf{R}}_N^{-1} \mathbf{I}_N)^{-1} \cdot \mathbf{I}_N^T \widetilde{\mathbf{R}}_N^{-1} \mathbf{R}_N \widetilde{\mathbf{R}}_N^{-1} \mathbf{I}_N (\mathbf{I}_N^T \widetilde{\mathbf{R}}_N^{-1} \mathbf{I}_N)^{-1} \quad (15)$$

이 식의 \widetilde{R}_f 는 상관계수인 매개변수의 함수이다. 이 매개변수의 값은 $\widetilde{R}_{f,p}$ (\widetilde{R}_f 의 3×3 블록)의 trace에 해당하는 위치 평균제곱오차(mean squared position error)의 기대값을 최소화하도록 선택하였다. 항적-항적 연관과 융합(식 (6))은 \mathbf{R}_N 을 $\widetilde{\mathbf{R}}_N$ 으로 대체하여 수행하게 된다.

참고문헌 [17]에서는 항적오차를 독립적인 것으로 가정하고 교차공분산을 무시한 경우, 정확한 교차공분산행렬을 사용한 경우, 그리고 근사적으로 교차공분산행렬을 계산한 경우, 각각에 대해 항적-항적 연

관 및 추정 성능을 실험을 통해 얻었다. 확장칼만 필터를 사용하여 추적하는 경우 표적이 기동하는 경우에는 정확한 교차공분산행렬의 계산이 가능하다면 사용하는 것이 유리함을 확인하였다. 하지만, 표적이 기동하지 않는 경우 항적오차의 상관성을 무시한 방법이 더 효과적이었다. 교차공분산행렬 근사화는 표적이 기동하는 구간에서만, 항적오차의 상관성을 무시하는 것보다 좋은 성능을 보였다. 교차공분산행렬 근사화 방법사이에는 큰 성능의 차이가 없었다. 따라서 표적의 기동구간에 대해서, 요구되는 추정의 정확도와 항적오차 상관성의 반영을 통해 얻을 수 있는 개선의 정도를 함께 고려하여 상관성의 반영 여부를 판단해야 한다.

5. 검토 및 맺음말

이 논문에서는 중앙 집중형 추적 구조 및 분산형 추적 구조에 관련된 다중 레이더 항적융합 연구의 최근 동향을 정리하였다. 중앙 집중형 추적 구조에 대해서는 표적추정의 OOSM 문제를 중심으로, 분산형 추적 구조에 대해서는 ML 항적융합에서 발생하는 항적-항적 연관 문제, 항적-항적 융합 문제, 그리고 이 과정에서 필요한 교차공분산행렬의 근사화 문제 등을 중심으로 연구 동향을 살펴보았다.

참고문헌 [19]의 실험결과를 보면 레이더의 수가 증가함에 따라 중앙 집중형 추적이 분산형 추적에 비해 그 차가 크지는 않지만 나은 성능을 보이는 것으로 나타난다. 하지만, 두개의 레이더를 이용하는 경우, 항적융합만을 고려했을 때 [20]에서는 중앙 집중형 추적에 가까운 추정의 정확도를 보였다. [20]의 결과는 본 논문에서 설명했던 분산형 추적이 준최적의 정확도를 갖는다는 장점뿐만 아니라(그림 2에서 점선으로 표시한 것과 같은) 융합항적을 피드백하거나 융합항적을 항적으로 유지하는 구조^[21-23]에 비해 구조적으로 간단하면서도 견고한 성능을 보임을 확인해 준다. 이러한 장점과 현재 레이더 체계에서 일반적으로 채택하는 표준방식이라는 현실적 이유로 최근 분산형 추적에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.

중앙 집중형 추적은 앞에서 언급한 바와 같이 정확

한 다표적 추적이 가능하다는 장점과 함께 항적정보만 제공되는 체계와의 연동에 대한 문제점, 근접 비행 표적에 대한 데이터 연관에 취약하다는 단점을 갖고 있다. 한편, AMR 표적정보를 서로 교환하여 각 레이다에서 이를 이용하여 추적을 수행하는 분산 복합 추적 방식^[1,3]도 최근에 많은 관심을 받고 있다.

후 기

이 연구는 국방과학연구소의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Y. Bar-Shalom and W. D. Blair (Ed.), *Multi-target-Multisensor Tracking : Applications and Advances*, Vol. III, MA : Artech House, Norwood, 2000.
- [2] S. S. Blackman and R. F. Popoli, *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, MA : Artech House, Norwood, 1999.
- [3] W. D. Blair and Y. Bar-Shalom, "Historical perspectives of multisensor tracking", *Distributed Sensor Networks Workshop*, Quebec City, July 2007.
- [4] P. J. Lanzkron and Y. Bar-Shalom, "A two-step method for out-of-sequence measurements", *in Proceedings of 2004 IEEE Aerospace Conference*, pp. 2036~2041, Big Sky, MT, Mar. 2004.
- [5] K. Zhang, X. R. Li and H. Chen, "Multi-sensor multi-target tracking with out-of-sequence measurements", *in Proceedings of 6th International Conference on Information Fusion*, pp. 672~679, Cairns, Australia, July 2003.
- [6] M. Mallick, J Krant and Y. Bar-Shalom, "Multi-sensor multi-target tracking using out-of-sequence measurements", *in Proceedings of 5th International Conference on Information Fusion*, pp. 135~142, Annapolis, MD, July 2002.
- [7] Y. Bar-Shalom, "Update with out-of-sequence measurements in tracking : exact solution", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 38, No. 3, pp. 769~777, July 2002.
- [8] M. Mallick, S. Coraluppi and C. Carthel, "Advances in asynchronous and decentralized estimation", *in Proceedings of 2001 IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, Mar. 2001.
- [9] E. W. Nettleton and H. Durrant-Whyte, "Delayed and asequent data in decentralized sensing networks", *in Proceedings of SPIE Conference*, Vol. 4571, Oct./Nov. 2001.
- [10] K. Zhang, X. R. Li and Y. Zhu, "Optimal update with out-of-sequence measurements", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 53, No. 6, pp. 1992~2004, June 2005.
- [11] Y. Bar-Shalom, H. Chen and M. Mallick, "One-step solution for the multistep out-of-sequence-measurement problem in tracking", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 40, No. 1, pp. 27~37, Jan. 2004.
- [12] Y. Bar-Shalom and H. Chen, "IMM estimator with out-of-sequence measurements", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 41, No. 1, pp. 90~98, Jan. 2005.
- [13] Y. Bar-Shalom, "On the track-to-track correlation problem", *IEEE Transaction on Automatic Control*, Vol. 26, No. 2, pp. 571~572, 1981.
- [14] Y. Bar-Shalom and L. Campo, "The effect of the common process noise on the two-sensor fused-track covariance", *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.

- 22, No. 6, pp. 803~805, 1986.
- [15] Y. Bar-Shalom and H. Chen, "Multisensor track-to-track association for tracks with dependent errors", *ISIF Journal of Advances in Information Fusion*, Vol. 1, No. 1, pp. 3~14, July 2006.
- [16] L. M. Kaplan and W. D. Blair, "Assignment costs for multiple sensor track-to-track association", in *Proceedings of the 7th Intl. Conference on Information Fusion*, Stockholm, Sweden, pp. 1231~1237, June 2004.
- [17] L. M. Kaplan, W. D. Blair and Y. Bar-Shalom, "Simulation studies of multisensor track association and fusion methods", in *Proceedings of 2006 IEEE/AIAA Aerospace Conference*, Big Sky, MT, Mar. 2006.
- [18] H. Chen, K. R. Pattipati, T. Kirubarajan and Y. Bar-Shalom, "Data association with possibly unresolved measurements using linear programming", In *Proceedings of the 5th ONR/GTRI Workshop on Target Tracking*, Newport, RI, June 2002.
- [19] H. Chen, T. Kirubarajan and Y. Bar-Shalom, "Performance limits of track-to-track fusion versus centralized estimation : theory and application", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol 39, No 2, pp. 386~400, April 2003.
- [20] Y. Bar-Shalom, "On hierarchical tracking for the real world", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 42, No. 3, pp. 846~850, July 2006.
- [21] M. E. Liggins II, C.-Y. Chong, I. Kadar, M. G. Alford, V. Vannicola and S. Thomopoulos, "Distributed fusion architectures and algorithms for target tracking", *Proceedings of the IEEE*, Vol 85, No. 1, pp. 95~107, Jan. 1997.
- [22] C.-Y. Chong, S. Mori, W. H. Barker and K.-C. Chang, "Architectures and algorithms for track association and fusion", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 15, No. 1, pp. 5~13, Jan. 2000.
- [23] S. Mori, W. H. Barker, C.-Y. Chong and K.-C. Chang, "Track association and track fusion with nondeterministic target dynamics", *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 38, No. 2, pp. 659~668, April 2002.