

다중 표적 추적기 실현화 연구

이 앙 원, 김 영 주, 이 봉 기, 김 경 기

국 방 과 학 연 구 소

A Study of Implementation of Multi-Target tracking System

Yang-weon Lee, Young-Joo Kim, Bong-Ki Lee, Kyung-Ki Kim

Agency for Defence Development

ABSTRACT

Track While Scan(TWS) system which can track the multi-targets in dense target environment is designed. There are three tasks to be performed: i) Target Detection and 'plot' formation, ii) Plot to track association and, iii) Track updatment. The conventional approach has been to tackle each of these tasks separately. This paper outlines a method for jointly optimising all the three tasks and presents implementation aspects.

1. 서 론

탐색레이다에 의해서 제공되는 표적 위치정보를 이용하여 표적의 속도, 침로등을 추정하는 방법은 TWS (Track While Scan) [1]라 하며 이것은 매스캔마다 추적 게이트를 움직여 가면서 레이다 반사 신호를 추출하여 추적이 가능 하도록한 알고리즘으로써 현재까지도 실제 시스템에 많이 적용되어지고 있다. 그러나 이러한 추적 시스템은 게이트내에 레이다 반사신호가 한개이상 존재하면 추적을 유지하지못하고 소실되거나 추적상태가 불안정하게 되며, 주변에 많은 표적이있는 상황하에서는 운용자가 계속 표적 추적상태를 주시해야만 하기 때문에 추적 정확도가 저하되고 반응시간이 길어지는 심각한 문제가 발생된다. 이와같은 단점을 개선함과 동시에 센서에서 오는 오차나 허위 정보 및 탐지 누락 등으로 인한 자료의 불확정성 문제를 해결 하기위해서는 기존의 일정구역 방법대신에 탐색영역 전체를 대상으로하여 각표적간의 기동상관관계를 확률적으로 구하여 강인한추적이 가능한 다중 표적 추적방법이 연구되어지고 있다. 이와같은 방법으

로는 최근접표적탐지(Nearest Neighborhood Approach) [2], 표적 추적분리 (Track Splitting) [3,4], 확률데이터 결합 [Probabilistic Data Association] [5,6], 최적베이지안 접근(Optimal Bayesian Approach) [7,8] 등의 방법이 주로 많이 알려지고 있다. 본 논문에서는 확률 데이터 결합 방법인 레이드 (D.B.REID)의 기본 알고리즘[5]을 변형하여 TWS 추적기를 구성하는 방안을 연구하였다. 연구 관점은 결정과정에서 추적갱신 필터에 의해서 제공된 어프라이오리(a priori) 정보를 사용할 수 있도록 하는것이며 탐지와추적 상관관계 처리에 있어서 방위속도등과 같은 정보를 결정 과정에 이용 가능하게 하도록 변형 하였으며, 또한 하드웨어 실현화에 있어서 고려사항을 제시하였다.

2. 본 론

가. 표적운동 모델링 및 추적 갱신

표적운동 모델은 아래식(1)과 선형운동형태로 표시한다.

$$\underline{X}(k+1) = \Phi(k) \underline{X}(k) + \underline{\omega}(k) \quad (1)$$

여기서 $\underline{X}(k)$ 는 n차원 상태벡터, $\Phi(k)$ 는 상태 천이행렬 $\underline{\omega}(k)$ 는 프로세스 잡음으로써 평균값이 영이고, 편차는 $Q(k)$ 를 갖는 분포로 가정한다.

한편 측정식은 아래 식(2)와 같이 모델링한다.

$$\underline{Z}(k) = H(k) \underline{X}(k) + \underline{\nu}(k) \quad k=0,1,2,\dots \quad (2)$$

여기서 $H(k)$ 는 기지의 행렬(rxn)이고, 측정잡음 $\underline{\nu}(k)$ 는 $\underline{\omega}(j)$ 와 독립적인관계를 가지며, 평균이 영이고 편차가 $R(k)$ 인 분포를 갖는다. 초기 상태의 값인 평균값과 공분산값은 $X(0)$, $P(0)$ 으로써 정규분포를 갖고, $\underline{\nu}(k)$ 및 $\underline{\omega}(k)$ 와는 독립적인 것으로 가정한다.

만일 측정데이터가 얻어진 후 각 표적에 할당되었던 경우에 시간의 경과에 따른 상태변수의 추정 및 예측값들 $\{\bar{X}(k), \bar{P}(k), \hat{X}(k), \hat{P}(k)\}$ 은 표준 칼만 필터 식 [9]에 의해서 주어진다. 칼만 필터의 시간 갱신 식 및 측정값 갱신식은 아래와 같다.

$$\bar{X}(k+1) = \Phi \hat{X}(k) \quad (3a)$$

$$\bar{P}(k+1) = \Phi \hat{P}(k) \Phi^T + \Gamma Q \Gamma^T \quad (3b)$$

$$\hat{X}(k) = \bar{X}(k) + K [z(k) - H \bar{X}(k)] \quad (4a)$$

$$\hat{P}(k) = \bar{P} - \bar{P} H^T (H \bar{P} H^T + R)^{-1} H \bar{P} \quad (4b)$$

$$K = \hat{P} H^T R^{-1} \quad (4c)$$

나. 탐지와 추적 관계식

모든 탐지된 물체들과 추적표적과의 관계를 얻기 위해서 하나의 가설 집합을 만든다. 가설의 발생은 표적을 중심으로 한것과 측정값을 중심으로 한 것이 알려지고 있는데 여기서는 추적개시 과정을 알고리즘내에 포함시킬수 있는 측정값 중심의 가설발생 방법을 이용한다.

먼저 가정으로써 임의의 데이터 집합k에서 측정값의 집합을 $Z(k) \triangleq \{Z_m(k), m=1, 2, \dots, M_k\}$ 로 나타내고 이것의 추적 집합을 $Z^k = \{Z(1), Z(2), \dots, Z(k)\}$ 로 나타내고 $\Omega^k \triangleq \{\Omega_i^k, i=1, 2, \dots, I_k\}$ 을 데이터 집합 k에서 발생 하는 모든 가설 집합으로 나타낸다.

시간 k 까지 측정값이 주어졌을때 가설 Ω_i^k 가 될 확률을 아래와 같이 P_i^k 라 정의한다.

$$P_i^k \triangleq P(\Omega_i^k | Z^k) \quad (5)$$

일반적으로 Ω_i^k 는 현재의 순간의 데이터 집합에 대한 연관가설과 이전의 가설인 Ω_i^{k-1} 로 이루어진 결합가설 (Joint Hypothesis)로써 이루어진다.

위식(5)를 베이즈법칙 (Bayes' Rule)를 이용하여 회귀관계식으로 유도하면 아래와 같다.

$$P(\Omega_i^k | Z^k) = \frac{1}{C} P(Z(k) | \Omega_i^k, \psi_h) P(\psi_h | \Omega_i^{k-1}) P(\Omega_i^{k-1}) \quad (6)$$

여기서 C는 본모를 계산함에 있어서 생긴 값을 정규화시키기 위해서 사용한 것이다

위식(6)의 오른쪽편의 첫번째 항은 연관가설 (Association Hypothesis)이 주어졌을때 측정값 $Z(k)$ 의 가능성

(Likelihood)을 의미하므로 그것은 아래와 같이 된다.

$$P(Z(k) | \Omega_i^k, \psi_h) = \prod_{m=1}^{M_k} f(m) \quad (7)$$

단 $f(m) = V^{-1} \cdot \begin{cases} m^{\text{th}} \text{ 측정값이 잡음} \\ \text{이나 새로운 표적} \\ \text{으로부터 오는 경우} \end{cases}$

$= N(Z_m - HX, P)$: 측정값이 기 추적 데이터와 상관 관계가 있는 경우

V : 관심 영역

$N(x, P)$: 정규 분포

위식(6)의 오른쪽편의 두번째항은 이전의 가설 Ω_i^{k-1} 이 주어졌을때 현재 순간의 데이터 관련 가설의 확률을 나타낸다.

다. 표적 탐지

클러스터내에 많은 가설이 있더라도 각 측정값과 표적과의 관계를 고려하면 가설의 수는 몇개 되지 않는다.

표적탐지에서 허위표적은 아래의 식을 이용하여 가능성 (Likelihood)을 구분한다.

$$\frac{\alpha(\psi_{md}, \Omega_i^k)}{\sum_{jh} \alpha(\psi_{mjh}, \Omega_i^k)} \quad (8)$$

단, $\alpha(\psi_{mjh}, \Omega_i^k) = \frac{P(Z_{md}(k) | \psi_{mjh}, \Omega_i^k)}{P(Z_{mt}(k) | \psi_{mjh}, \Omega_i^k)}$

여기서 추적단계물 가능성 단계, 잠정추적 단계, 추적 확인 단계, 추적삭제 단계 등으로 구분할 때 잠정단계 임계값보다 낮은 가능성에 대해서는 가능성 표적으로써 고려하여 탐지 물표로 등록한다.

라. 추적 개시 및 삭제

잠정 추적은 가설 과정에서 형성된 새로운 표적으로 오는 측정값들과 연결한다. 허위 표적일 확률이 추적 확인 임계값보다 낮을때는 잠정 추적이 시작된다.

추적하는 표적중에 측정값과 관련이없는 경우에는 탐지가 누락 되었다고 계산 되며, 이와같은 누락이 n회 이상 연속해서 반복되면 추적은 삭제된다.

마. 알고리즘 계산 방법

알고리즘의 계산과정은 그림 1에 나타냈다.

수신된 레이다 신호는 MTI(Moving Target Indicator) 필터, CFAR (Constant False Alarm Rate) 프로세서 및

적분기 등을 통해서 나온 것으로써 입력 임계값을 통과해서 온 반사신호는 가능성단계의 표적으로써 간주한다. 이와같은 데이터들은 하나의 데이터 베이스를 구축하는데 저장되는 데이터는 중심위치, 랭크, 각속도와 기알고있는 데이터인 표적예상 위치및 유효게이트 값 등이다.

추적 게이트의 유효영역내에 있는 측정값에한해서 추적하고 있는 표적과 연관관계 가능성을 검사한다. 측정값이 허위 표적으로부터 올 확률의 계산은 기지의 정보와 현재 스캔 데이터를 이용해서 계산한다.

허위 표적이 될 확률이 잠정단계 표적의 임계값 보다 클 경우에는 측정된 데이터는 삭제된다. 여러가지 표적과 추적의 가설이 축약된 데이터베이스에서 만들어지며, 지금까지 갖고 있는 모든 정보를 이용하여 각 가설의 확률을 계산한다. 계산된 가설들 중에서 무시할 만한 값을 갖는 것은 삭제된다. 허위 표적이 될

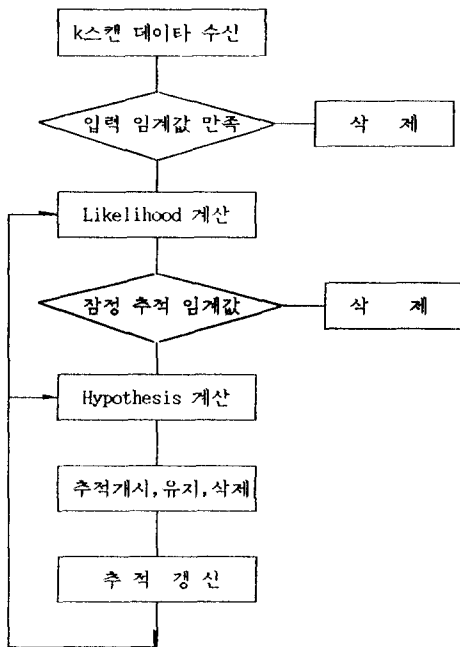


그림 1: 계산 과정

Fig. 1: Flow of Calculation

확률이 잠정단계 추적 임계값 보다 작은 새로운 표적은 잠정단계로 규정한다. 허위표적이 될 확률이 추적개시 임계값보다 작은 잠정 단계 추적은 새로이 추적을 개시하게 된다(추적확인 단계), 추적갱신은 칼만 필터를 이용하여 각 표적에 대해서 수행한다. 여기서 추적유지 조건을 만족하지 못한 추적은 삭제된다. 만일 측정값이 유효 구역이 아닌 구역 즉 자유구역에 있으면 랭크와 각속도등을 근거로 해서 가능성단계의 표적으로 결정할 수도 있다.

3. 하드웨어 실현화 고찰

가. 문제 정의

알고리즘을 구현하는데 있어서 예상되는 문제점은 아래와 같다.

1) 시간지연 및 저장 메모리

한스캔에서 얻어진 데이터가 모두모인후 처리를 시작하면 저장메모리가 크게 필요하며 또한 처리 소요시간으로 인한 지연이 야기된다. 따라서 데이터의 수집과 처리를 병렬로 수행할 것이 요구된다.

2) 표적 측정 오차

한스캔을 여러 구역으로 구분하여 신호를 얻을경우에 경계구역 근처에서 발생하는 표적에 대해서는 스캔이 경과됨에 따라 오차가 발생할 수 있다.

3) 허위 표적 판별에 따른 컴퓨터 계산 부하

알고리즘은 유효게이트 (Validation Gate) 안에 있는 측정데이터와 유효게이트 밖에있는 측정데이터를 구분할 수 있어야 한다.

만일 측정물표가 유효 게이트내에 있으면 그것이 허위 표적인가 여부를 가리기 위해선 현재의 스캔자료 뿐만 아니라 기존의 자료 (a priori data)도 함께 계산에 포함될 수 있지만 만일 유효게이트 밖 즉 자유지역에 물표가 존재하면 현재의 스캔정보를 이용해서 허위표적 유무를 결정해야 한다. 예로써 만일 하나의 스캔중 4000 개의 측정값이 임계준위를 통과했고 유효게이트 내에는 그중 400개의 물표가 존재하였다면 이것은 컴퓨터 계산능력, 할당시간 면에서 실현가능하지 못한다.

4) 데이터 중복사용

만일 표적물표가 자유지역에 있다면, 데이터가 도착해서 게이트를 열거나 추적을 갱신하는데 필요한 처리시간은 매우 짧게 될 것이므로 경우에 따라서는 이 데이터가 같은 스캔에서 중복 사용될 경우가 발생할 수 있다.

나. 하드웨어 실현화

1) 메모리 관리

앞절 '가' 에서 언급한 '3)'의 문제에 대한 효율적인 해결책이 실제시스템 구현시에는 필수적으로 요구된다. 본논문에서는 각 측정값에 대한 탐색을 수행함에 있어서 유효게이트내의 모든 표적에 대해서 수행하는 대신에 표적 방위속도 및 랭크등을 이용하여 유효게이트내 표적의 수를 제한함으로써 감소된 집합을 가지고 탐색을 하도록 하게 하였다. 이러한 제한된 집합을 선택하는 것은 메모리 구조를 설정하는데 큰 도움을 줄 수 있으며 게이트내 추적 메모리 영역(표적 예측위치 및 유효게이트 데이터) 및 게이트내 측정메모리 영역(측정데이터 저장)으로 구분하여 배치함으로써 가능하게 하였다.

2) 시간관리

앞절의 문제들은 대부분 색인 문제로써, 알고리즘상에서는 어떤 임의의 스캔에 해당하는 측정값들에 대해서 색인을 하는데 이것은 현재의 스캔이 바로전의 스캔시 측정된 값들과고만 결합관계를 수행하기 위한 것이다. 본논문에서는 알고리즘에서 의미하는 임무에 구체적인 시간을 할당하어서 색인이 없어도 가능하게 할 수 있도록 하였다. 알고리즘의 임무를 i) 게이트 탐색 ii) 가설 발생 및 확률 계산, iii) 추적 갱신으로 나눌때 각기 다른 데이터에 대해서 3가지 일을 동시에 수행할 수 있도록 한 것이다. 즉 게이트 탐색을 어떤 데이터에 대해서 수행할 때 가설발생 및 계산은 최초임무가 끝난 다른 데이터에 대해서 수행하고, 추적갱신은 앞의 2단계가 끝난 데이터에 대해서 수행하도록 하는 것이다.

3 가지 임무에 대한 구체적인 시간 슬롯 배열은 다음

그림 2와 같다.

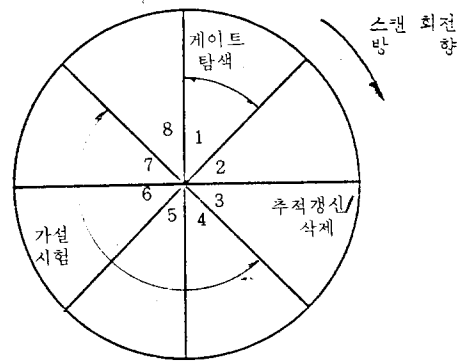


그림 2 : 시간 배치도

Fig. 2 : Timing Diagram

게이트 탐색이 구획 1의 데이터를 수행할 때, 가설 시험은 구획 4,5,6,7중의 데이터에 대해서 수행하며, 추적갱신은 구획 3에 있는 데이터에 대해서 수행한다. 전체 다이어그램은 시계방향으로 회전한다.

새로운 데이터가 들어오기전에 추적갱신이 완료되도록 해서 앞에서 언급한 실용화 문제 '4)'가 해결된다. 실제로 시간 다이어그램에서 가설검증과 게이트탐색 사이에 완충구역을 설정함으로써 게이트내에 주어진 모든 데이터가 가설시험이 행해지기 전에 전달 되도록 하였다.

실제 이와같은 시스템을 수행하기 위해서는 3개의 16비트 마이크로프로세서 (Intel 8086)와 연산 코프로세서 (Intel 8087)가 필요할 것으로 예측된다. 최초 프로세서는 게이트 탐색과 관련로직을 다루며, 두번째 프로세서는 메모리 관리를 다루고, 세번째 프로세서는 가설 계산 및 추적 갱신에 사용하면 될 것이다.

4. 결 론

기존의 TWS 추적방식에 비해서 본논문에서 제시한 방법을 이용할 때의 장점은 아래와 같다.

1) 추적 갱신 필터에 의해서 제공되는 기지의 정보는

탐색 과정에서 이용되므로 신호대 간섭비를 증가시킬 수 있다.

- 2) 표적의 랭크 및 방위 속도등의 값을 탐지 및 추적 상관관계 결정시 이용하므로 탐지 과정에서 확실성을 증가시키므로 클러터가 존재할 때의 표적, 기동 표적, 교차표적 등에 대한 추적 능력이 증가된다.
- 3) 데이터베이스의 최적화로 인하여 여러가지 가설의 계산 시간을 줄일 수 있다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 이용환, "TWS 추적 필터 설계", NWDC 717 82018, 국방과학연구소
- [2] Ferranti Computer System, "WSA-423 Functional Design Document", U.K. 1986
- [3] P. Smith and G. Buchler, "A Branching Algorithm for Discriminating & Tracking Multiple Objects, IEEE AC-20, PP101-104, Feb. 1975
- [4] C.B. Chang, "An Algorithm for Multiple Targets Tracking & Data Correlation", MIT TR643, June, 1983
- [5] D.B. REID, "An Algorithm for Tracking Multiple Targets", IEEE AC-24, Dec. 1979
- [6] Y. Barshalom, "Extension of PDA filter in MTT", in Proc. 5th Symp. On Nonlinear Estimation Sept. '74
- [7] R.W. Sittler, "An Optimal data association problem in surveillance theory", IEEE Trans. Mil. electronics, Vol Mil-8 pp125-139
- [8] D.L. Alspach, "A Gaussian Sum approach to MTT", Automatica, Vol-11, pp285-296, 1975
- [9] Y. Barshalom, "Survey Paper : Tracking methods in MTT", IEEE Trans AC-23 pp618-626, Aug. '78