

중첩된 다중표적 추적 알고리즘 설계

Design of Target Tracking Algorithm for Multi-target Superposition

손현승¹, 주영훈², 박진배¹

¹서울시 서대문구 연세대학교 전기전자공학과
E-mail: {ssonhyung, ibpark}@yonsei.ac.kr

²전라북도 군산시 군산대학교 전자정보공학부
E-mail: yhjoo@kunsan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다중 표적의 중첩이라는 상황에 대한 새로운 해결 방식을 소개한다. 비선형 표적의 위치와 속도에 대한 추적을 중심으로 표적과 비표적의 중첩이 일어나는 순간 이후 분리되었을 때 추적중인 표적을 지속적으로 유지할 수 있는 방법에 대해 이야기 하고자 한다. 이 논문에서 제안된 알고리즘은 예측 명중위치 개념과 최대 잡음수준을 이용한 칼만필터 기반의 적응 상호작용 다중모델 기법으로 측정된 위치값과 예측된 명중위치 사이의 차이를 고려한 변형된 칼만필터 개념을 이용한다. 이 논문에서는 비선형 표적의 가속도를 시변 변수인 표적의 추가적인 잡음으로 두고 각각의 가속도 간격의 정도에 따라 얻어지는 모든 잡음에 대한 변수에 의해 각각의 하부 모델들을 특성화시켰다. 제안된 알고리즘은 표적의 운동특성에 따라 적용적으로 기법을 선택할 수 있는 선택적 방식을 구현하고자 한다. 표적의 기동중에 나타나는 가속도를 효과적으로 다루기 위하여 잡음의 크기가 급격히 증가하는 경우 그 증가분을 가속도로 인식하여 기동표적 관계식에 이용한다. 그리고 제안된 알고리즘의 수행 가능성을 보여주기 위하여 몇 가지 예를 제시하였다.

Key Words : Pre-intercept point, Kalman filter, Adaptive interactive multiple model, Acceleration

1. 서 론

기동표적 추적에 대한 기술은 많은 분야에서 사용되고 있지만 특히 군사분야에서 표적을 얼마나 빨리 그리고 정확히 획득하고 추적하느냐의 문제는 전투의 승패를 결정하는 중요한 요인이 되고 있다. 더 나아가 최근 기술의 발달과 함께 단일 표적뿐만 아니라 다중 표적을 대상으로 하는 환경과 각종 시스템들이 생기면서 그에 대한 연구 또한 활발한 실정이다. 일반적으로 탐지를 당하는 표적의 경우 비선형 운동을 하는데 비해 이를 탐지 및 추적하는 감지센서들은 절대 표적의 위치만을 측정한다. 하지만 표적의 정밀한 추적을 위해서는 표적의 패턴을 인식하여 추적이 이루어지는 동안 원하는 시간에 표적에 공격수단이 명중할 수 있는 정밀함을 요구하고 있다. 이러한 점에서 모든 시스템들은 최신의 추적기술을 도입하여 정밀해지고 다양해져 가고 있는 현대의 전장환경을 극복하려 노력하고 있다. 기동표적에 대한 연구는 1960년대 칼만필터가 소개 된 이후 이를 이용하여 활발히 이루어져 왔다 [1-3]. 이 경우 표적의 운동을 선형으로 근사

화한 모델을 사용하여 칼만필터를 구성 하므로써 측정 오차와 표적 움직임의 비선형성을 어느 정도는 해결할 수 있었다. 그러나 표적이 강한 비선형 기동을 수행할 경우 기존의 등속도 운동 모델과는 상당한 오차를 유발하게 된다. 이러한 비선형 측정치의 문제해결을 위한 방법으로 확장 칼만필터 (extended Kalman filter) [4]가 개발되기도 하였으며, 근래에는 이러한 급격한 기동을 행하는 표적을 추적하기 위한 방법으로 가변차수 기법, 입력추정 기법, 다중모델 기법등의 다양한 모델이 제시되기도 하였다 [5-7].

이중에서 본 논문은 비선형 기동표적의 추적과 함께 다중표적의 중첩이라는 상황을 해결하기 위한 접근방법에 대해 연구하고 새로운 접근 방식을 찾고자 한다. 본 논문에서는 비선형 표적의 효율적인 위치, 속도 추적과 함께 제안된 알고리즘을 통하여 표적이 비표적과 중첩 되었을 경우 원하는 표적을 선별해 내는 방법에 대해 제안하고 설명하고자 한다.

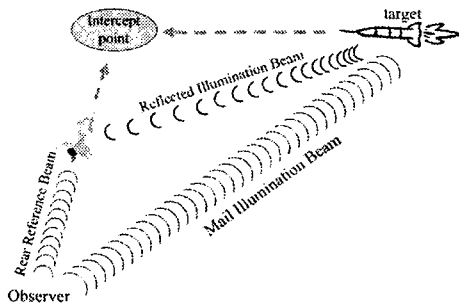


그림 1. 예상 명중 위치
Fig 1. Predicted intercept point

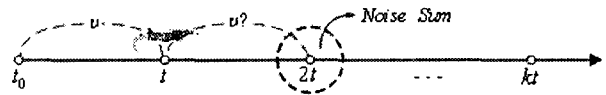


그림 2. 표적의 비선형기동
Fig. 2. Non-linear maneuvering of the target

3. 예상명중위치와 최대잡음 수준을 이용한 추적 알고리즘

3.1 예상명중위치 이론과 최대 잡음수준을 응용한 가속도 이용

일정한 속도를 가진 기동표적의 예측위치는 시간과 속도에 의존한다. 비선형 기동성을 지닌 기동표적은 모델링 과정에서 칼만필터의 사용을 위해 선형 기동에 기초한 dynamic equation을 설정하게 된다. 여기서 가속도는 프로세스 잡음으로 들어가게 된다.

표적의 선형 기동에 바탕을 둔 비선형 기동에 대해서 생각해보자. 이 경우 각각의 샘플링 타임마다 시간과 속도에 의존한 표적이 원래 위치해야만 하는 점을 이탈한다는 점을 알 수 있고 그 차이는 잡음총합 (Noise Sum) × 샘플링시간(t) 만큼 이탈하게 된다. 이상의 내용을 정리하면 그림 2와 같이 표현이 되고 여기서 이탈되는 양을 결정하는 성분은 프로세스 잡음, 측정 잡음, 입력 가속도, 지연시간, 등이 있다. 실제 전장 환경에서 측정된 값과 계산된 값의 차이를 생각해 보면 상당한 오차가 있음을 알 수 있다.

선형 기동 표적의 예상위치는 오직 시간과 속도에 의존한다. 이에 비해 비선형성을 가지는 표적의 다이나믹 방정식을 세우는 것은 칼만 필터의 사용을 위한 선형 기동 기반의 과정이다. 여기서 가속도는 잡음총합의 한가지로 포함된다. 이 부분을 분리해내기 위하여 세 가지 가정을 설정한다. 먼저 측정 잡음과 프로세스 잡음과는 상관관계가 없는 것이다. 두 번째는 기동에 주어진 가속도의 크기는 앞의 두 가지 잡음의 크기보다 크다는 것이다. 이것은 기술의 발달에 따라 현대의 전장 환경에서 적용되는 사실이다. 세 번째는 실제 우리가 프로세스 잡음의 크기를 알 수 없다 하더라도 그것이 가질 수 있는 최대의 범위를 알 수 있다는 것이다. 이것은 장비가 가지고 있는 정밀도의 특성을 의미하는 것이다. 즉 프로세스 잡음의 크기는 (-) 최대의 프로세스 잡음과 (+) 최대의 프로세스 잡음사이 존재한다. 이 부분을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \|\omega(k)\| &\leq \|\max \omega(k)\| \\ \omega(k) &= \sqrt{q} \text{ random}(k) \\ \|\omega(k)\| &= \|\sqrt{q} \text{ random}(k)\| \\ &\leq \|\sqrt{q}\| \|\text{random}(k)\| \end{aligned}$$

2. 이론적 배경

2.1 기동표적 모델

기동표적을 위한 선형 이산 시간 모델(linear discrete time model)은 각각의 축에 대하여 다음과 같다.

$$x(k+1) = Fx(k) + G[u(k) + w(k)] \quad (1)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, x(k)는 상태 벡터, F와 G는 각각 시스템 행렬과 이득 행렬이고, w(k)는 프로세스 잡음, u(k)는 실제로 알지 못하는 결정적(deterministic) 가속도 입력이다. 또한 측정 방정식은 다음과 같다.

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (3)$$

여기서, H=[1 0]는 측정 행렬이고, v(k)는 측정 잡음이다. w(k)와 v(k)는 각각 분산 q와 r을 가지는 영 평균 가우시안 백색 잡음이고, 두 잡음들 사이의 상관관계는 영으로 가정한다.

2.2 예상명중 위치(PIP)의 개념

먼저 이 용어의 개념은 군사분야 혹은 비행과 관련한 분야에서 국한되어 설명되는 용어임을 알려준다. 예상명중위치(PIP : Predicted Intercept Point)는 비행을 하는 탄환이 발사체로부터 발사된 후에 표적에 명중하게 되는 순간의 위치를 명중시점 이전에 계산하여 얻어지는 위치의 개념이다 [8]. 이 개념은 항상 전문적인 컴퓨터에 의해 계산되는 동적인 의미를 지니는 값이다. 예상명중위치는 계산이 되어진 후에 HUD(Head-up display)의 스크린 상에 실시간 하나의 점으로 표시가 된다. 이것은 HUD가 사용되는 주요 목적이기 때문에 무기를 운용하는 작동수는 항상 현재 자신의 눈에 보이는 실제 표적의 위치보다는 명중될 수 있는 순간의 지점을 표시한 스크린상의 PIP를 주시하지 된다. 이 상황을 그림으로 표현하면 그림 1과 같다.

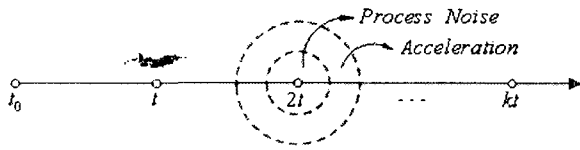


그림 3. 가속도와 잡음을 고려한 기동
Fig. 3. Maneuvering concerning acceleration and noise

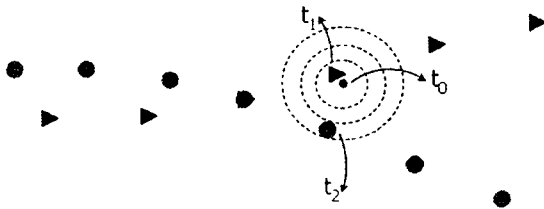


그림 4. 다중표적 중첩
Fig. 4. Multi-target superposition

여기서 ω 는 프로세스 잡음, q 는 잡음을 설정하는 장비의 성능 기준치이다. 지금까지 기술한 선형 기동과 비선형기동, 프로세스 잡음과 가속도, 최대 잡음 스케일을 고려한 내용을 종합하면 그림 3과 같이 표시된다. 그림 3에서의 내부원은 가속도가 고려되지 않은 상태에서 오직 프로세스 잡음만을 고려한 선형 상태에서의 표적의 예상 위치를 의미하는 위치이고, 외부원은 가속도와 프로세스 잡음이 동시에 주어진 비선형 기동의 표적 예상 위치이다. 그림 2와 그림 3을 동시에 고려해 볼 때 비선형 기동의 경우, 계산되어질 샘플링 타임에서 표적의 예상 위치는 내부원을 벗어나서 내부원과 외부원 사이의 임의의 지점에 놓이게 된다. 이것은 외부원이 잡음 총합을 의미하기 때문이다. 본 논문에서는 (*외부원 - 내부원*)의 크기를 기존의 다이내믹 방정식에 이용하여 새로운 알고리즘을 세우도록 할 것이다. 다시 말해 샘플링 시간(t)에서 다음 샘플링 시간의 예상 명중위치와 측정치를 동시에 계산하고, 두 값의 차이를 수정된 필터링 방정식에 예상되는 가속도로서 이용하는 것이다.

3.2 다중 표적 중첩의 해결

표적이 중첩되어 하나의 표적으로 인식되었다가 분리되었을 때 추적중인 표적을 선택하는 것은 중요한 문제이다. 앞에서 제안된 방법을 이용하여 이를 쉽게 해결할 수 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 중첩이 일어난 후에 다음의 예상위치를 제안된 알고리즘을 통해 t_0 점을 구하고, 표적 1의 측정위치 t_1 과 표적 2의 측정위치 t_2 를 볼 때 t_0 의 영역을 증가시키면서 원하는 표적을 선별해 낼 수가 있다. 그림 4에서는 표적 1을 추적하는 과정을 묘사하였다. 제안된 알고리즘을 통해 구해진 t_0 을 중심으로 가장 가까운 점의 표적이 원래 구하려 했던 t_0 의 동심원은 각각의 하부 모델들에게 주어질 에러수준에 따라 설정된다.

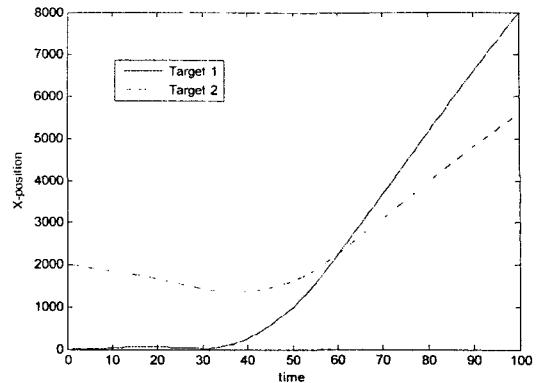


그림 5. 표적위치 이동
Fig. 5. Target position movement

4. 모의실험 및 결과 고찰

이 절에서는 가상의 비선형 기동표적을 설정한 모의실험을 통하여 제안된 방법의 추적 성능이 적절히 표현되는지를 확인하고 특히 기존 칼만 필터와 제안된 기법의 성능 차이를 중심으로 비교 실험 하였다.

두 개의 가상 표적은 그림 5에서 보듯이 초기 등속도 운동을 하는 기동표적으로 각기 다른 초기 위치에서 각각 속도 1km/sec와 -5km/sec으로 기동을 시작한다. 이후 비선형 기동을 거친 후 60 샘플링 시간에서 두 표적은 같은 점을 통과하여 다시 분리되는 가상의 기동표적 운동을 얻었다.

먼저 두 표적의 60 샘플링 시간에서의 중첩 이후 다음 샘플링 타임에서 표적 1, 표적 2, 제안된 알고리즘에 의한 예상 위치는 각각 표 1에서 보는 바와 같다.

표 1. 표적위치와 예상오차
Table 1. Expected position and error

구 분	예상위치	표적 1	표적 2
위 치	3401.2	3401.4	3361.4
RMSE	0	0.447	6.308

※ RMSE(Root mean square error)

표 1에서 볼 수 있듯이 추적의 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 그림 4의 원리에 따라 예상 명중위치를 중심으로 동심원을 넓혀 나가면 표적 1이 표적 2에 비해 작은 반지름을 가지는 동심원내에 포함됨을 알 수 있고, 그림 4의 경우 표적 1은 첫 번째 동심원내에 포함되고 그림 2는 세 번째 동심원내에 포함된다. 작은 동심원내에 속할수록 예상되는 표적의 해당 샘플링 타임의 위치라고 결정한다. 즉 제안된 알고리즘에 의한 추적중인 표적으로 간주 할 수 있는 것이다.

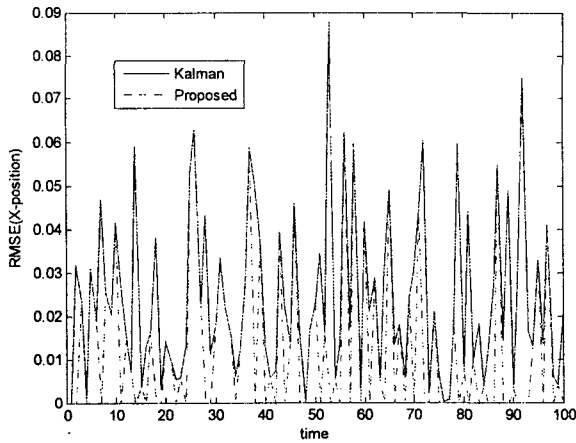


그림 7. 위치추적 결과

다음은 가상표적의 추적 결과를 나타낸다. 기존의 칼만필터 기반의 기법과 비교하여 제안된 알고리즘은 가속도 입력에도 추적중인 표적을 놓치지 않고 지속적인 추적을 유지할 수 있어야 하며 앞에서 말했던 다중 표적 발생 시 기존 표적을 유지할 수 있어야 한다. 그림 7은 표적 1을 해당표적으로, 표적 2를 비표적으로 하여 추적하였을 때, 중첩에 상관없이 표적 1을 샘플링 시간 100동안 추적한 결과이다.

제안된 기법은 프로세스 노이즈의 시간별 크기와 시스템상의 최대의 크기간의 오차를 동반하여 계산이 되어지므로 실제값과 같을 수는 없었다. 하지만, 지금까지 많은 연구가 되어있는 다른 학습법과 병행한다면 좀 더 성능이 좋은 기법이 될 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 비선형 기동표적을 효과적으로 추적하기 위해 가속도의 입력을 기존의 잡음의 의미에서 벗어나 기동표적의 값을 구하는 또 하나의 방법으로 이용할 수 있었으며, 선형 기동이 비선형 기동으로 이어지는 경우 연속적인 오차의 크기를 증가 시키지 않는 효과를 가져왔다. 또한 다중표적이 발생하여 위치의 중첩이 일어났을 경우 기존의 추적중인 표적을 선별해내는 새로운 방법을 제시하였으며 모의실험 결과를 통해 그 성능을 입증 하였다. 앞에서 이야기 했던 실질적인 문제점과 실시간 해결이라는 하는 두 가지 특성을 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 기법은 오차가 발생하는 원인이 가속도의 입력이라는 점에 착안하여 가속도 자체를 이용하는 방법을 제안하였다. 이는 가장 현실적인 시도였으며 다른 기법과 병행할 경우 보다 정밀하게 성능을 향상 시킬 수 있는 새로운 방법이 될 수 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 2007년도
두뇌한국21사업에 의하여
지원되었음

참 고 문 헌

- [1] Singer, R. A.: "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets", IEEE Trans. Aero. Electron. Sys., Vol. AES-6, No. 4, pp. 473-483, 1970
- [2] Blom, H. A. P., and Bar-Shalom, Y.: "The interacting multiple model algorithm for systems with a jump-linear smoothing application", IEEE Trans. Autom. Control, AC-33, Vol. (8), pp. 780-783, 1988
- [3] Bar-Shalom, Y., Chan, K. C., and Blom, H. A. P.: "Tracking a maneuvering target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm", IEEE Trans. Aero. Electron. Sys., AES-25, (2), pp. 296-300, 1989.
- [4] I. A. Gura, "Extension of Linear Estimation Technique to Nonlinear Problem", Jour. of Astronomical Science, Vol. 4, pp. 194-205, 1968.
- [5] Y. T. Chan, A. G. C. Hu and J. B. Plant, "A Kalman Filter Based Tracking Scheme with Input Estimation", IEEE Trans. on Aero. and Electro. sys., Vol. AES-15, No. 2, pp. 237-244, 1979.
- [6] Y. T. Chan, J. B. Plant, and J. R. T. Bottomley, "A Kalman Tracker with a Simple Input Estimator", IEEE Trans. on Aero. and Electro. sys., Vol. AES-18, No. 2, pp. 235-241, 1992.
- [7] K. C. C. Chan, H. Leung, and V. Lee, "Maneuvering Target Tracking Using Fuzzy Logic", IEEE Trans. on Aero. and Electro. sys., Vol. AES-28, No. 5, pp. 782-792, 1997.
- [8] Frank Jay : 'IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms', The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, Third Edition, 1984, pp. 1133