

PHP 개념을 이용한 비선형 기동표적 추적기법 설계

Designing of non-linear maneuvering target tracking method using PHP

손현승¹, 주영훈², 박진배¹

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

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

요 약

본 논문에서는 비선형 기동표적의 추적에 대한 새로운 접근 방식을 소개한다. 이 논문에서는 표적의 가속도를 시변 변수인 표적의 추가적인 잡음으로 두고 각각의 가속도 간격의 정도에 따라 얻어지는 모든 잡음에 대한 변수에 의해 각각의 하부 모델들을 특성화시켰다. 표적의 기동중에 나타나는 가속도를 효과적으로 다루기 위하여, 잡음의 크기가 급격히 증가할 경우 증가분을 가속도로 인식하여 기동표적 관계식에 이용하였다. 또한 모르는 가속도에 따른 시변 변수를 적용적으로 어림잡기는 어렵기 때문에 정밀한 계산을 위하여 퍼지 뉴럴 네트워크와 적응 상호작용 다중모델 기법을 이용하였다. 퍼지 뉴럴 네트워크의 동정을 위해서는 오차 역전파 학습법을 사용하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 수행 가능성을 보여주기 위하여 몇 가지 예를 제시하였다.

Key Words : Pre-hitted Point, Kalman Filter, Adaptive Interactive Multiple Model, Acceleration

1. 서 론

비선형 기동표적(maneuvering target) 추적에 대한 문제는 이제는 군사적인 문제뿐만이 아니라 일상 생활에서도 쉽게 접하고 응용하는 가까운 분야로 발전되어 왔다. 그리고 본 논문에서는 실시간으로 반응할 수 있어야 한다는 점과 가장 실제적인 문제에 접근하기 위해 노력하였다. 현재 군 내에서는 센서에서 측정된 표적의 데이터를 처리하고 이를 이용하여 표적의 위치 탐지 및 추적, 그리고 이를 이용하여 표적을 공격하는 자동 방어 시스템 개념으로 전투수행의 개념이 바뀌어 가고 있다. 이점에서 시스템은 매우 복잡하고 정밀해지는 전장 환경에 적용할 수 있는 첨단기술이 필요하게 되었다. 기동 표적의 가장 큰 문제점은 비선형적 운동에 대해 추적 시스템이 민감한 반응을 하는 것이다.

1960년대 칼만필터가 소개된 이후 이를 이용하여 표적 추적 문제를 해결하려는 시도가 광범위하게 이루어져 왔다[1-3]. 이 경우 표적의 운동을 선형으로 근사화한 모델을 사용하여 칼만필터를 구성 하므로써 측정 오차와 표적 움직임의 비선형성을 어느 정도는 해결할 수 있었다. 그러나 표적이 방향 전환이나 탐지회피를

위하여 강한 비선형 기동을 수행할 경우 가속도를 포함한 운동을 하게 되므로 기존의 등속도 운동 모델과는 상당한 오차를 발생하며, 심지어는 표적을 놓치는 경우가 발생한다.

그래서 본 논문에서는 수학적으로 모델링하기 어렵거나 강한 비선형성을 가지는 경우, 표적의 가속도를 시변 변수인 표적의 추가적인 잡음으로 둔 상태에서 표적의 기동중에 나타나는 가속도를 효과적으로 다루기 위하여, 잡음의 크기가 급격히 증가할 경우 증가분을 가속도로 인식하여 기동표적 관계식에 이용 하였으며, 시간적인 측면에서 PHP(Pre-hitted point)라는 개념을 응용하여 그 자체의 모델링 식에서 가속도 오차를 분리해내는 방법을 찾고자 한다. 또한 모르는 가속도에 따른 시변 변수를 적용적으로 어림잡기는 어렵기 때문에 정밀한 계산을 위하여 퍼지 뉴럴 네트워크와 적응 상호작용 다중모델 기법을 이용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 이용된 이론을 소개하고, 3절에서는 본 논문에서 제안한 PHP 응용 이론을 설명한다. 4절에서는 제안된 이론을 가상표적을 이용한 기동표적을 추적해가는 과정을 모의실험을 통하여 보여주고, 5절에서는 본 논문의 결론을 도출한다.

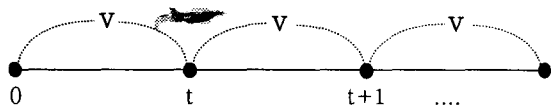


그림 1. 선형 기동표적의 이동

2. 이론적 배경

2.1 PHP(Pre-hitted Point)

먼저 기동표적이 선형 기동(Linear maneuvering)을 하는 경우를 생각하자. 실제 환경에서의 3차원 입장을 각 차원별로 분리해서 생각해보면 각 차원별로 표적은 하나의 직선을 따라 움직이는 상황이 된다. 이때 시간적 관점에서 Sampling time을 매 초마다가 잡을 경우 그림 1과 같이 임의의 t초에 측정된 표적의 위치는 현재 위치에 주어진 속도로 1초간 움직인 거리만큼 이동할 수 있다. 그림 1에서 sampling time(t)는 1, 속도는 v 이다.

다음으로 표적이 비선형 기동을 하는 경우를 살펴보자. 이 경우 표적은 각점에서 벗어나게 된다. 그 이유는 sampling time 마다 표적의 위치 간격은 $(a+v) \times t$ 만큼으로 벌어지기 때문이다. 여기서 측정위치는 가속도에 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 역시 이는 실제 전장 환경에서 측정오차, 계산상의 오차와 비교할 때 확실한 크기의 차이를 보이며 측정되어짐을 알 수 있다. 기동표적에 대한 dynamic equation은 다음과 같다.

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

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (2)$$

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. $z(k)$ 는 측정 방정식이고 H는 측정 행렬이고, $v(k)$ 는 측정 잡음이다. $w(k)$ 와 $v(k)$ 는 각각 분산 q 와 r 을 가지는 영 평균 가우시안 백색 잡음이고, 두 잡음들 사이의 상관관계는 0으로 가정한다.

위 식에서 보듯이 가속도와 잡음은 실제 알지 못하는 값과 임의의 난수로 설정한다. 그리고 지금까지의 논문은 이 상태를 가정으로 두었기 때문에 실제 근본적인 응용을 하지 않았다. 본 논문에서는 식 1에서 볼 수 있는 잡음항을 이용하여 실제 예측위치 계산에 이용하고자 한다.

2.2 적응 상호작용 모델 기법

적응 상호작용 다중모델 기법[4-5]은 각각의 축에 대해 제한된 수의 부-모델들을 가지고, 부-모델들은 추정된 가속도와 이러한 가속도에 대해 대칭적으로 분포하는 가속도 수준으로 표현된다. N개의 부-모델을 가지는 경우, 다중모델

집합 M은 다음과 같이 표현된다.

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\} \quad (3)$$

$$= \{\hat{a}(k), \hat{a}(k) \pm \varepsilon_1, \dots, \hat{a}(k) \pm \varepsilon_{(N-1)/2}\}$$

여기서, $a(k)$ 는 추정된 표적의 가속도를, $\varepsilon_{(N-1)/2}$ 은 사전에 결정된 가속도 간격을 나타낸다. 적응 상호작용 모델 기법에서 표적의 가속도는 바이어스 필터와 바이어스-프리 필터로 구성된 이단 칼만 추정기에 의해 각각의 축에 대해 병렬로 추정된다. 적응 상호작용 모델 기법의 알고리즘은 아래 4가지 내용을 주 내용으로 한다.

첫 번째는 혼합과정으로 단 하나의 필터모델에서 벗어나 여러 개의 필터모델을 사용하여 각 모델을 간의 추정치를 어떠한 방법으로 원하는 추정치는 각각의 추정치와 그 추정치가 지니는 확률의 가중합에 의한다.

두 번째는 필터링 알고리즘으로 적응상호작용 다중모델 기법에서 사용하는 부-모델로써 사용된다. 본 논문에서는 가속도 구간에서 발생하는 칼만필터의 오차 증가를 줄이는 방법을 주요 목적으로 한다.

세 번째는 모델확률 갱신 과정으로 각각의 부-모델이 전체에서 차지하는 값의 비율을 모델확률(μ)에 관한 식으로 정리한다.

네 번째는 추정치의 조합으로 추정치와 그 나머지 공분산에 대한 조합은 아래의 식과 같이 부-모델로부터 얻어지는 추정치와 그 나머지 공분산의 확률적 합에 의해 얻어진다.

$$\hat{x}(k|k) = \sum_{j=1}^J \mu_j(k) \hat{x}_j(k|k) \quad (4)$$

$$P(k|k) = \sum_{j=1}^J \mu_j(k) (\hat{x}_j(k|k) P_j(k|k) + [\hat{x}_j(k|k) - \hat{x}(k|k)] \cdot [\hat{x}_j(k|k) - \hat{x}(k|k)]^T) \quad (5)$$

3. PHP를 이용한 비선형 기동표적의 추적 알고리즘

3.1 PHP 이론을 응용한 가속도 이용

앞에서 설명했듯이 일정한 속도를 가진 기동 표적의 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. 이 부분을 분리하기 위해 몇 가지 가정을 둔다. 먼저 측정잡음과 프로세스 잡음을 상관관계가 없으며, 기술의 발달에 의해 기동의 가속도는 위의 두 가지 잡음보다 그 크기가 훨씬 크다는 것이다. 이점은 실제 전장환경 에서도 그대로 적용되는 사실이다.

가속도 수준과 프로세스 잡음 수준 그리고 전체 잡음과의 크기관계는 표 1과 같다.

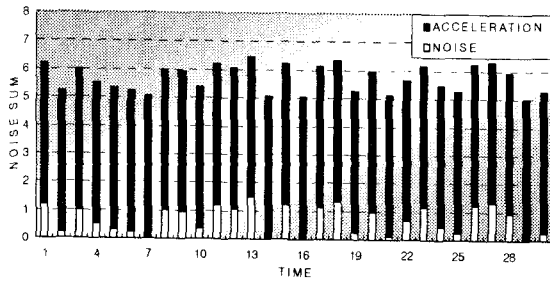


표 1. 잡음 크기 비교

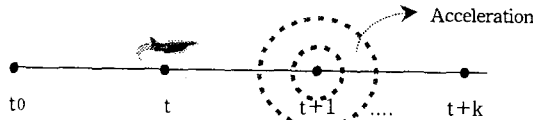


그림 2. 표적의 예측 위치

표 1에서 볼 수 있듯이 가속도가 입력될 경우 기존의 프로세스 잡음과는 상당한 크기의 차이를 지니며 전체 잡음 값이 변화됨을 알 수 있고 이를 이용하여 dynamic equation에 이용하고자 한다. 이상의 내용은 그림 2와 같이 표현될 수 있다. 여기서 파란원은 가속도가 입력되지 않은 선형 기동표적이 프로세스 잡음만을 고려하여 위치하는 점이고, 붉은색 원은 가속도와 프로세스 잡음을 모두 고려한 비선형 기동표적의 예상 위치이다. 그림 1을 기준으로 볼 때, 그림 3에서는 비선형 기동 시 다음 sampling time시 표적의 예상위치는 파란색 원을 벗어나게 된다. 기존의 접근방식에서는 이 부분을 그대로 잡음으로 보았기 때문에 가속도가 입력되는 기동 시 증가된 잡음에 의해 예측위치도 실제 표적과 상이한 값을 가지게 된다. 본 논문에서는 이 부분의 크기(붉은색 원 - 푸른 색 원)를 기존 dynamic equation에 응용하여 새로운 알고리즘을 만들고자 한다. 즉, 현재의 sampling time(t)에서 기존 속도와 시간에 대한(PHP) 위치를 구하고 동시에 실제 측정위치를 구하여 그 크기의 차이를 변형된 알고리즘에 사용할 가속도의 크기로 이용하게 된다. 이 과정은 3.2절에서 다루기로 한다.

위치 예측을 하여 얻어지는 가속도의 크기에 의해 어떤 필터를 사용할지의 결정은 다음과 같은 과정을 가진다. sampling time(t)에서 PHP에 의한 선형 기동 예측위치와 기존 dynamic equation에 의한 예측위치(가속도는 구간별로 임의 할당함)를 함께 구한 후 이전 측정시(sampling time)의 실제 측정 위치와의 오차를 구했을 경우 그 오차가 내부원의 크기를 벗어날 경우 벗어난 크기만큼(Noise Sum - Max Noise)을 가속도로 인식하여 PHP 필터를 이용하고 그 과정은 그림 3과 같다.

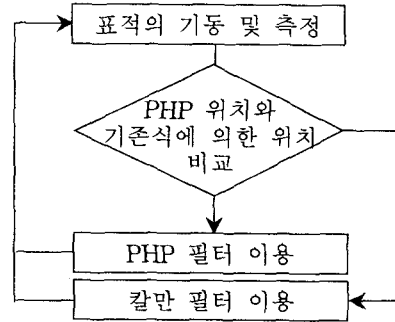


그림 3. PHP 결정 과정

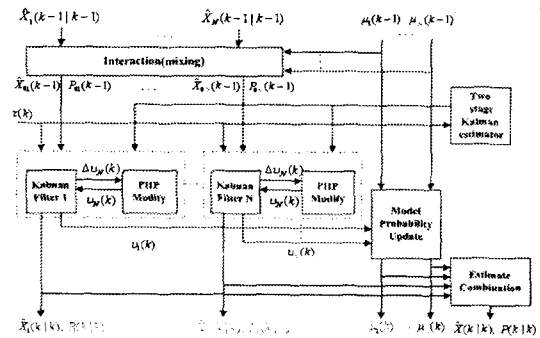


그림 4. 추적 알고리즘

3.2 PHP 필터 알고리즘

그림 3과 같은 과정에 의해 가속도가 입력되었다고 판단될 경우 아래 식(6~11)과 같이 dynamic equation의 변경이 이루어지고, 그렇지 않을 경우 기존의 필터방식을 이용하게 된다.

$$\hat{x}_p(k) = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot z(k-1) + w(k) \tag{6}$$

$$vel_p(k|k-1) = z(k-1) \tag{7}$$

$$err_p(k) = z(k) - \hat{x}(k) \tag{8}$$

$$acc_p(k) = err_p(k) \tag{9}$$

$$vel_p(k) = vel_p(k|k-1) + acc_p(k) \tag{10}$$

$$x(k|k) = x(k-1|k-1) + \alpha \cdot \begin{bmatrix} T & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} vel_p(k) \\ acc_p(k) \end{bmatrix} \tag{11}$$

그리고 지금까지의 방법을 이용한 전체적인 추적 알고리즘은 그림 4와 같다.

4. 모의실험 및 결과 고찰

이 절에서는 가상표적을 설정한 모의실험을 통하여 제안된 방법의 성능이 적절히 표현되는지를 확인하고 특히 기존 칼만 필터와 제안된 기법의 차이를 중심으로 비교 실험 하였다.

가상 표적은 초기 등속도 운동을 하는 기동표적으로 초기 위치에서 속도 1km/sec으로 기동을 시작한다. 30~60 샘플링 구간 동안 가속도 5km/sec²를 입력하여 그림 5와 그림 6과 같은 위치와 속도에 대한 가상의 기동표적 운동을 얻었다.

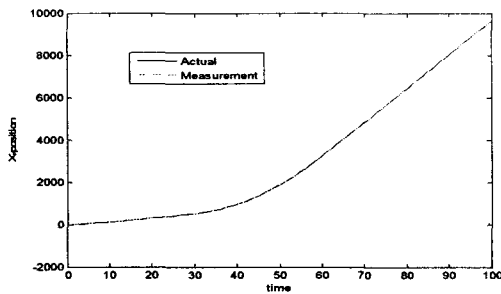


그림 5. 표적위치 이동

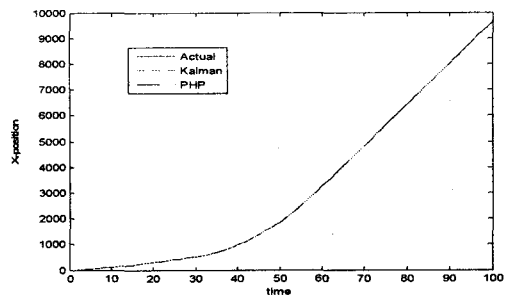


그림 7. 위치추적 결과

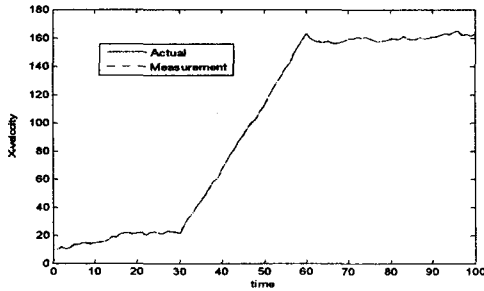


그림 6. 표적속도 운동

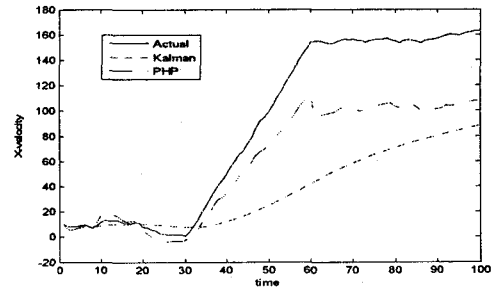


그림 8. 속도추적 결과

그리고 이러한 형태를 보이는 기동표적을 실시간으로 추적하였을 때의 결과는 그림 7과 그림 8에서 쉽게 예측할 수 있듯이 위치추적 결과에서는 실제 표적과 두 가지 방식의 추적 방식과 특별한 차이를 보이지 않지만 속도 추적 능력에서는 칼만필터와 제안된 기법간의 상당한 차이를 보일 수 있었다.

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. 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 2006년도 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] 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.
- [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] HENK A. P. BLOM and YAAKOV BAR-SHALOM "The interacting multiple model algorithm for systems with markovian switching coefficients", *IEEE Trans. on automatic control vol 33, no.8*, pp. 780-783, 1988.
- [5] A. Munir and D. P. Atherton, "Adaptive interacting multiple model algorithm for tracking a maneuvering target", *IEE Proc. of Radar Sonar and Nav. vol 142, no.1*, pp. 11-17, 1995.