

9개의 상태변수 모델에서 기동 입력 추정 기법을 사용한 추적 필터 구성

황익호, 성태경, 이장규,
서울대학교 공과대학 제어계측공학과

이양원, 김경기
국방과학연구소

A Tracking Filter Design using Input Estimation in the 9-state Target Model

I.H. Hwang, T.K. Sung, J.G. Lee,
Dept. of Ctrl. & Inst. Eng. S.N.U.

Y.W. Lee, K.K. Kim
A.D.D.

Abstract

An input estimation technique for tracking filter(CHP algorithm) suggested by Y.T. Chan et. al. has bad performance for low maneuvering targets. In this paper, two maneuver detection algorithms are applied to Singer's target model.

First, an CHP input estimation technique is applied to 9 state target model. Second, we construct a maneuver detection and correction technique using pseudo acceleration measurements, which are derived directly from measurements. These two filters have good performance for even the low maneuvering targets.

1. 서 론

표적추적문제(target tracking problem)는 레이다 등으로 측정된 표적의 위치정보를 사용하여 표적의 위치, 속도, 가속도의 추정치를 구하는 문제이다. 일반적으로 표적의 추적은 실시간으로 이루어져야하며 표적의 기동이 있을 경우에도 양호한 추적성능을 보여야 한다. 선형 칼만필터는 순환적 구조를 가지고 있으므로 알고리즘이 단순하고 수렴속도가 빠르며, 주파수영역이 아닌 시간영역에서의 직접적인 데이터처리가 가능하므로 추적필터에 적합하다고 알려져 있다.[1,2] 추적 필터를 구성하기 위해서는 먼저 표적의 움직임을 나타낼 수 있는 역학모델이 필요하다. 일반적으로 표적의 움직임은 상속도 직선운동으로 고려할 수 있으나 표적의 기동(maneuver)이 있는 경우 상당한 오차를 수반하게 된다. 따라서, 이러한 기동을 나타내기 위한 모델이 필요하며 기동이 있는 표적에 대한 모델은 1970년에 Singer에 의하여 최초로 제안되었다.[3]

Singer는 시간 t에서 인가된 표적의 기동입력이 작은 시간 τ 후인 시간 $t+\tau$ 에서도 표적의 운동에 영향을 준다는 가정하에, 임의의 표적 가속도를 1차 마코프 프로세스로 모델링하였다. 그러나, Singer의 표적모델을 사용한 추적필터는 표적의 기동이 급격한 경우 추적성능이 불량하므로 기동이 급격한 표적에 대한 추적필터 알고리즘이 요구되었으며, 표적의 기동을 검출하고 기동이 있는 경우 이에 대처하는 적응 추적기법들이 제안되었다.

CHP알고리즘은 이러한 적응 추적기법 중의 하나로 Y.T.

Chan 등에 의하여 제안되었다.[4,5] 그 내용은 기동이 없다고 가정한 단순칼만필터의 출력과 표적의 측정치를 사용하여 최소자승법으로 입력추정치를 계산하고 이로부터 기동검출 및 보정을 하는 방법이다. 그러나, 표적의 기동이 시작된 시간을 고려하지 않고 윈도우 크기 만큼의 시간 동안 기동이 있었던 것으로 가정하여 보상함으로써 보상치가 부정확해지는 단점이 있다. 특히 표적의 기동이 완만한 경우, 기동검출이 늦어지므로 그동안 누적되어온 상태변수들의 오차가 한꺼번에 보상되어 과도한 보상이 이루어질 가능성이 높으며, 이로 인하여 추정치가 부정확해지고 심한 경우 필터가 발산할 수도 있다. 따라서, Chan등은 이를 해결하기 위하여 기동검출 억제구간(update suppression interval)을 둘 것을 제안하였다.[5] 이러한 과보상의 문제의 해결방안으로 Bogler는 표적의 기동이 시작된 시간도 추정하는 방법을 제안하였다. 그러나, 이방법은 필터의 구조가 복잡하여 계산량이 많으므로 실제로 구현하는데 어려움이 있다.[6] 그러므로, 표적의 기동이 완만한 경우에도 양호한 성능을 보이며, 과보상의 문제를 완화시킬 수 있는 추적 알고리즘의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 Singer가 제안한 표적모델과 CHP알고리즘을 결합하여 표적의 기동이 완만한 경우에는 Singer모델로 추적하고 기동이 급격한 경우 이를 검출하여 보상하는 방법을 유도하고 그 성능을 살펴보았다. 또한, 표적의 측정치에서 직접 구해진 의사가속도를 사용하여 표적의 기동을 검출하고, 기동이 시작된 시간을 추정하여 보상하는 방법을 유도하고 그 성능을 검토하였다.

2. 가속도를 고려한 CHP알고리즘

1970년 R.A. Singer는 표적의 기동을 상속도 직선운동에 더하여지는 교란(disturbance)으로 가정하고, 표적의 기동가속도를 1차 Markov process로 모델링하였다.[3] 본 논문에서는 Singer 모델의 운동방정식의 이산형태(discrete form)에 입력 항을 추가하여 식(2.1)과 같은 표적의 운동방정식을 가정하였으며, 측정식은 식(2.2)와 같다.[7]

$$x(k+1) = F x(k) + B u(k) + w(k) \quad (2.1)$$

$$z(k) = H x(k) + v(k) \quad (2.2)$$

여기서, $x' = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \ddot{x} \ \ddot{y} \ \ddot{z}]'$

$$F = \begin{bmatrix} I & \Delta t I & \tau^2(-1 + \Delta t/\tau + \exp(-\Delta t/\tau))I \\ 0 & I & \tau(1 - \exp(-\Delta t/\tau))I \\ 0 & 0 & \exp(-\Delta t/\tau)I \end{bmatrix}$$

$$H = [I \ 0 \ 0], \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix}$$

$$Q = \text{cov}(w) = 2\sigma_m^2/\tau \begin{bmatrix} \Delta t^5/20 I & \Delta t^4/8 I & \Delta t^3/6 I \\ \Delta t^4/8 I & \Delta t^3/3 I & \Delta t^2/2 I \\ \Delta t^3/6 I & \Delta t^2/2 I & \Delta t I \end{bmatrix}$$

이제 입력을 0으로하고 식(2.1)과 (2.2)를 사용하여 구성된 칼만필터를 단순 칼만 필터라 하자.

그러면, 단순칼만필터의 상태변수 $\hat{x}(k)$ 와 측정치 $z(k+j)$ 사이에는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$z(k+j) - HF^j \hat{x}(k) = HF^j B u + v(k+j) + HF^j [x(k) - \hat{x}(k)] + H \sum_{i=1}^j F^{i-1} w(k+i-1)$$

$$\text{여기서, } j = 1, 2, \dots, l \quad (2.3)$$

최소자승법을 적용하기 위하여 식(2.3)을 선형으로 고치면 다음과 같다.

$$Y = \phi u + \delta \quad (2.4)$$

여기서,

$$Y = [\dots [z(k+j) - HF^j \hat{x}(k)]' \dots]'$$

$$\phi = [\dots [H(F^j B)]' \dots]'$$

$$\delta = [\dots \{ v(k+j) + HF^j [x(k) - \hat{x}(k)] + H[\sum_{i=1}^j F^{i-1} w(k+i-1)] \}' \dots]'$$

$$j = 1, 2, \dots, l$$

한편, δ 는 측정잡음과 공정잡음, 칼만필터 잔류오차로 구성되어 있으므로 가우시안 확률변수로 생각할 수 있고, 그 평균은 0이며 공분산 Q 는 식(2.5)로 주어진다.

$$Q = \begin{bmatrix} HFP(k)(F')^l H' + HFQ(F')^l H' & \dots & HFP(k)(F')^{l-1} H' + HFQ(F')^{l-1} H' \\ HFP(k)(F')^{2l} H' + HFQ(F')^{2l} H' & \dots & HFP(k)(F')^{2l-2} H' + HFQ(F')^{2l-2} H' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ HFP(k)(F')^2 H' + HFQ(F')^2 H' & \dots & HFP(k)(F')^0 H' + HFQ(F')^0 H' \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

이제 식(2.4)를 사용하여 최소자승법으로 구한 입력의 추정치는 식(2.6)으로 주어진다.

$$\hat{u} = [\phi' Q^{-1} \phi]^{-1} [\phi' Q^{-1} Y] \quad (2.6)$$

한편, \hat{u} 의 공분산은 $[\phi' Q^{-1} \phi]^{-1}$ 이므로 표적의 기동을 검출하기 위한 기준식인 식(2.7)에서 γ^2 가 chi-square분포를 가지므로 이에 해당하는 적당한 임계값을 설정하여 이값을 초과하면 기동이 발생한 것으로 판단한다.

$$\gamma^2 = \hat{u}' [\phi' Q^{-1} \phi] \hat{u} \quad (2.7)$$

기동이 검출된 후의 보상식은 식(2.8), (2.9)와 같이 주어진다.

$$\hat{x}^u(k+1) = \hat{x}(k+1) + M \hat{u} \quad (2.8)$$

$$P^u(k+1) = P(k+1) + M[\phi' Q^{-1} \phi]^{-1} M' \quad (2.9)$$

여기서, $M = F^l B$

위와 같이 구한 추적필터 알고리즘은 표적의 기동 가속도를 고려하였으므로, 표적의 초기치 오차가 크거나 기동이 완만한 경우에서도 양호한 성능을 보일 것으로 생각된다. 그러나 식(2.6)의 계산에서 3l×3l크기의 역행렬을 계산하여야 하는 등 상당한 양의 계산량을 요구하므로 실제 구현에는 어려움이 있다.

3. 의사가속도를 사용한 추적필터

시간 k와 k-1에서의 표적의 측정치는 그 시간 간격 사이의 표적의 속도와 가속도의 영향을 포함하고 있으므로, 표적속도의 추정치와 측정치를 사용하면 그 순간에 작용한 표적의 가속도를 계산할 수 있다. 이러한 과정은 식(3.1)에 보였으며, 이때 구하여진 가속도 \bar{a} 를 의사가속도(pseudo acceleration measurements)라 정의하기로 한다.

$$\bar{a}_k = \frac{2}{T^2} \{ z_{k+1} - z_k - \hat{v}_k T \} \quad (3.1)$$

여기서, z_k : 표적 위치의 측정치

T : 샘플링 간격

\hat{v}_k : 시간 k에서의 표적 속도의 추정치

(이하 $\hat{\cdot}$ 는 칼만필터를 사용한 추정치를 의미)

의사가속도의 확률적 성질은 표적의 기동이 없을 경우, 평균은 표적의 실제 가속도 a 와 같고, 분산은 $(4/T^2)P_k(2,2) + R_k + R_{k+1} + Q_k$ 로 주어진다. 이때 $P_k(i, j)$ 는 1차원 상에서 표적의 위치, 속도, 가속도를 상태변수로 한 칼만필터에서 구해진 오차공분산 행렬의 (i, j) 원소이며, R 과 Q 는 각각 측정잡음과 공정잡음의 공분산이다.

이제 A_k 를 의사가속도와 칼만필터에서 구해진 가속도(이하 단순추정가속도라 함)의 차이이라하면, A_k 는 평균이 0이고 분산 V_k 는 식(3.2)와 같음을 알 수 있다.

$$V_k = E\{ A_k^2 \} = \frac{4}{T^2} P_k(2,2) + \frac{4}{T^4} (R_k + R_{k+1} + Q_k) + P_k(3,3) + \frac{4}{T} P_k(2,3) \quad (3.2)$$

여기서, $A_k = \bar{a}_k - \hat{a}_k$

한편, 식(3.3)에 의하여 A_k 는 칼만필터의 추정오차와 측정잡음 n_k , 공정잡음 w_k 으로 이루어지므로 정규분포를 가진다. 그러므로 크기가 1인 윈도우내의 A_k 들의 평균 γ_k 도 정규분포를 가진다. 이때, γ_k 의 분산은 식(3.5)로 주어지므로 γ_k 의 표준편차를 고려한 적당한 임계값을 설정하여 γ_k 가 이 값을 넘으면 기동으로 판단한다.

$$\frac{1}{2} T^2 A_k = T(v_k - \hat{v}_k) + \frac{1}{2} T^2 (a_k - \hat{a}_k) + n_{k+1} - n_k + w_k \quad (3.3)$$

$$\gamma_k = \frac{1}{l} \sum_{i=k-1}^k A_i \quad (3.4)$$

$$\text{Var}(\gamma_k) = \frac{1}{l^2} \left\{ \sum_{i=k-1}^k V_i + 2 \sum_{i=k-1}^{k-1} R_{i+1} \right\} \quad (3.5)$$

여기서, l : 윈도우의 길이

기동이 검출되면 식(3.4)의 γ_k , 즉 윈도우 내의 단순 추정 가속도 들의 평균으로 기동입력을 계산하고, 식(3.6)과 식(3.7)을 사용하여 상태변수와 공분산을 보상하게 된다. 기동이 일어난 시간 n 에서 현재시간 k 까지 입력이 영향을 준 만큼 상태변수를 보상하며, 공분산의 보상은 식(3.7)의 보상 전의 공분산과 보상 후의 공분산 값의 관계에서 이루어진다.

$$\hat{x}_k^u = \hat{x}_k + M \gamma_k \quad (3.6)$$

여기서, $M = F^{l-n} B$

F : 한 축에서 가속도까지 고려된 시스템 행렬(3x3)

B : 입력 행렬(3x1)

n : 기동이 일어난 시간

윗첨자 u : 보상 후의 값

$$P_k^u = E \left\{ \left(\hat{x}_k^u - x_k \right) \left(\hat{x}_k^u - x_k \right)' \right\} \quad (3.7)$$

$$= E \left\{ \left(\hat{x}_k - x_k + M \gamma_k \right) \left(\hat{x}_k - x_k + M \gamma_k \right)' \right\}$$

$$= P_k + M \left[\frac{1}{l^2} \sum_{i=k-1}^k V_i \right] M'$$

한편, 식(3.6), (3.7)을 사용하여 기동에 대한 보상을 하기 위해서는 기동이 시작한 시간 n 을 구하는 것이 필요하며, Bogler에 의하여 기동입력시점의 추정방법이 연구되었다.[6] 그러나, 그의 필터는 복잡한 필터구조를 가지고 있어서, 상당히 많은 계산을 요구하므로 본 논문에서는 식(3.8)의 $\Delta M(m)$ 이 최대가 되는 시간을 택하여 그 시간을 기동이 시작된 시간 n 으로 선정하였다. 이때, 과거에서 현재까지의 모든 시간에 대하여 $\Delta M(m)$ 을 계산할 수 없으므로 현재시간에서 윈도우 길이의 두배 전 만큼의 시간에 대하여 $\Delta M(m)$ 을 계산하여 사용하였다.

$$\Delta M(m) = \left\{ \text{시간}m \text{에서 } k \text{까지의 } A_i/s_i \text{의 평균} \right\} - \left\{ \text{시간}k-2l \text{에서 } m \text{까지의 } A_i/s_i \text{의 평균} \right\} \quad (3.8)$$

여기서, $s_i = V_i^{1/2}$

이와같이 구성된 추적필터는 2장에서 소개한 가속도까지 고려된 CHP알고리즘이나 Bogler가 제안한 필터에 비하여 계산량이 적으므로 실제로 구현하는데 용이하다. 또한, 표적의 기동 시작 시간도 추정하므로 과보상의 문제도 상당히 완화되어 있다. 그러나, 샘플링시간이 작을 경우 식(3.2)에서 알 수 있듯이 단순추정가속도의 공분산이 증가하므로 기동 검출 성능이 저하될 우려가 있다. 따라서, 이 필터는 샘플링 간격이 큰 감시 레이더 시스템(surveillance radar system)에서 사용하거나, 샘플링간격이 작은 시스템에서는 기동검사를 하는 시간간

격과 칼만필터가 수행되는 시간간격을 다르게하여 칼만필터링을 빈번히 하도록 구현하는 것이 바람직하다 할 것이다.

4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 2장과 3장에서 소개한 추적필터의 성능을 평가하고자 한다. 3장에서 소개한 의사 가속도를 사용한 추적필터의 성능을 알아보기 위하여 1차원에 대하여 필터를 구성하고 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션에 사용된 표적 시나리오는 세가지 형태로 다음과 같이 구성하였다. 시나리오 A는 50초에서 기동이 시작되어 60초에 끝나며, 기동가속도는 0[m/sec²]에서 50[m/sec²]까지 직선적으로 증가하는 형태이다. 시나리오 B는 표적A와 반대로 50초에서 60초 사이에 기동가속도가 50[m/sec²]에서 0[m/sec²]까지 직선적으로 감소하는 형태이다. 마지막으로 시나리오 C는 50초에서 55초까지 30[m/sec²]의 크기로 가속도를 인가하였다. 또, 표적의 초기속도는 200[m/sec]로 선정하였다. 또한, 샘플링 간격은 1초로 하였으며, 측정잡음은 평균이 0이고 표준편차 10[m]인 백색 정규 잡음을 사용하였다.

표 4.1은 3장에서 제안한 추적필터가 기동을 검출한 시간과 기동이 시작된 시간을 추정한 값을 보인 것이다. 표에서 알 수 있듯이 기동가속도가 순간적으로 급격히 증가하는 경우, 기동 검출 시간 및 기동 시작 시간의 추정치도 양호한 값을 보여줌을 알 수 있었다. 그러나, 표적의 기동 가속도가 0에서 완만하게 증가하는 경우, 시간이 지나 필터추정치의 오차가 상당히 누적된 다음에야 기동이 검출됨을 볼 수 있다. 또한, 표적의 기동이 시작된 시간의 추정치 역시 다른 경우보다 큰 오차를 내포함을 알 수 있다.

표 4.1 기동 검출 시간과 추정 기동 시작 시간

Table 4.1 Maneuver Detection Time & Estimated Maneuver Starting Time

표적 시나리오	기동 검출 시간		추정 기동 시작 시간	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
A	57.6	0.9695	52.3	1.7635
B	52.9	0.5385	51.15	1.5256
C	53.5	0.5000	49.7	1.7059

그림 4.1은 표적 시나리오 A에 대한 의사 가속도를 사용한 추적필터의 추정오차를 보인 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 표적의 기동이 생긴 경우 이를 즉시 보상하여 전체적으로 양호한 성능 보이고 있다. 기타 표적 시나리오 B, C에 대한 성능은 표적 A에 대한 성능보다 더 좋은 성능을 보였다.

이제 3차원 상에서 움직이는 표적에 대한 추적성능을 알아보기 위하여 Singer가 제안한 추적필터에 세축에 대하여 각각 의사가속도를 사용한 추적필터(이후로는 필터III이라 한

다.)를 구성하였다. 이제 필터III과 CHP알고리즘, 가속도를 고려한 CHP알고리즘(이후로는 ACHP 알고리즘이라 한다.)을 비교하기 위하여 기동이 완만한 시나리오(이후로는 시나리오 S라 한다.)와 급격한 기동이 있는 시나리오(이후로는 시나리오 F라 한다.)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이때, 샘플링 시간은 1초, 측정잡음은 거리측 4[m], 고각 및 횡전각 0.001[rad]의 표준편차를 갖는 0평균 백색 정규잡음을 사용하였다. 표적의 기동가속도는 시나리오 A는 7[g], 시나리오 B는 1.5[g]를 사용하였으며, 초기 속도 200[m/sec]로 출발하여 90도 만큼 회전하여 접근하는 궤적을 사용하였다. 또한 궤적은 xy-평면과 xz-평면을 동시에 도시하였으며, 그림에서 x-축은 표적시나리오의 x-축과 일치하며, 그림의 y-축은 표적시나리오의 y-축 혹은 z-축을 의미한다. 이때, 표적은 그림의 원점에 있는 레이더를 향하여 접근하는 것으로 가정하였다.

그림 4.2는 시나리오 F에 대한 각각의 추적필터의 추적 형태를 보인 것이다. 이 경우 세가지의 필터에 대하여 전반적인 성능은 큰 차이가 없으나 CHP알고리즘을 사용한 것은 z-축방향의 초기치 오차를 빨리 상쇄하지 못하고 추적하는 구간이 있음을 볼 수 있다. 또한, 기동이 검출된 후에도 보상시의 오차로 인한 과도상태가 상당 기간 지속됨을 알 수 있다. ACHP 알고리즘과 필터III은 서로 비슷한 성능을 보여 주었다. 그림 4.3은 세가지 필터에 대한 추정치의 위치오차를 보인 것으로 검은 네모는 CHP알고리즘, 마름모는 필터III, 십자는 ACHP알고리즘을 사용한 경우의 오차이다. 그림에서 알 수 있듯이 CHP알고리즘은 표적의 속도까지 만큼 고려하므로 초기치의 오차를 상쇄하는데 보다 긴 시간이 걸림을 볼 수 있으며, 표적의 기동이 있는 경우는 추정오차가 급격히 증가하다가 기동을 검출하여 이를 보정하면 비로소 그 값이 줄어들음을 알 수 있다. 이에 반하여 가속도까지 고려된 필터 들은 초기치 오차가 있는 경우에도 오차를 양호하게 보정하며, 필터의 가속도 공정잡음으로 추적하지 못 할 만큼 기동이 큰 경우에만 이를 검출하여 오차를 줄임을 볼 수 있다. 전반적인 성능은 ACHP알고리즘이 필터III보다 양호하였다. 이는 필터III을 구성할 때 세축에 대한 연관항(coupling term)을 고려하지 않고 필터를 구성하였기 때문이라 생각된다.

그림 4.4는 시나리오 S에 대하여 추적한 성능을 보인 것이다. 이 경우 속도만을 고려한 CHP알고리즘은 기동이 검출되어 이를 보상하였으나 가속도까지 고려된 필터들은 기동을 검출하지 않고, 기동입력을 가속도에 인가된 공정잡음으로 간주하여 추적을 수행함으로써, Singer가 제안한 필터와 동일한 성능을 보여 주었다. 그림 4.5는 시나리오 S에 대하여 추적필터의 추적오차를 보인 것이다. 그림에서 검은 네모는 CHP알고리즘을 사용한 경우의 오차이고, 십자표시는 가속도까지 고려된 알고리즘(ACHP알고리즘이나 필터III)의 추적오차(위치오차)이다. 그림에서 CHP알고리즘은 표적의 기동이 지속적으로 있으

므로 오차가 증가하며, 이 값이 누적되면 기동으로 검출하여 보상하는 과정을 반복함을 알 수 있다.

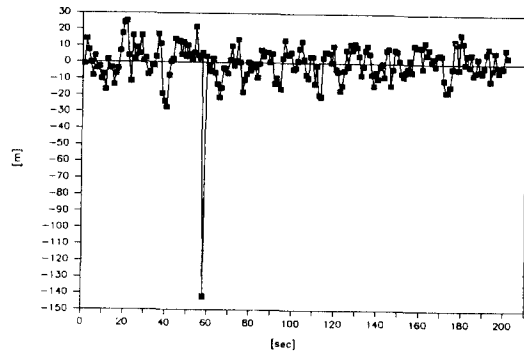
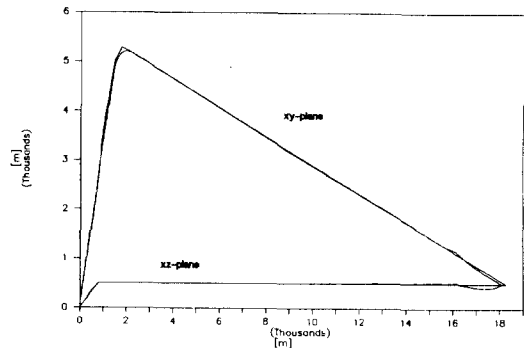
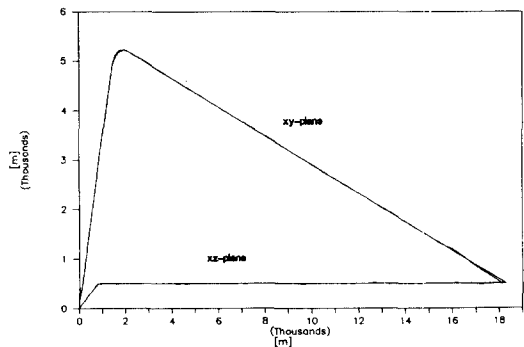


그림 4.1 시나리오 A의 추정오차(위치)
Fig. 4.1 Position Errors of Scenario A

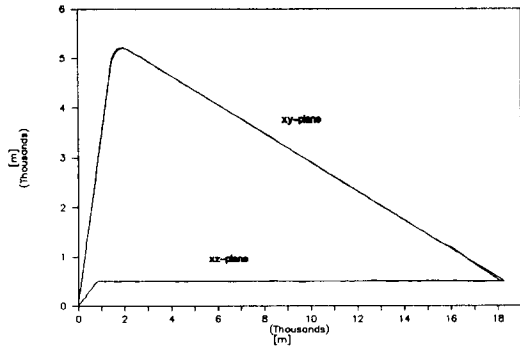


(a) CHP 알고리즘(CHP algorithm)



(b) ACHP 알고리즘(ACHP algorithm)

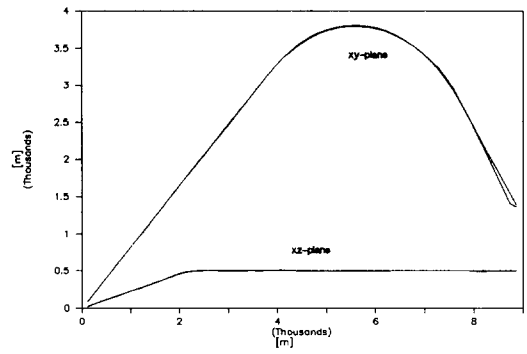
그림 4.2 시나리오 F에 대한 추적성능
Fig. 4.2 Tracking Performance of Target Scenario F



(c) 필터 III(Filter III)

그림 4.2 시나리오 F에 대한 추적성능

Fig. 4.2 Tracking Performance of Target Scenario F



(b) ACP 알고리즘(ACP algorithm)

그림 4.4 시나리오 S에 대한 추적성능

Fig. 4.4 Tracking Performance of Target Scenario S

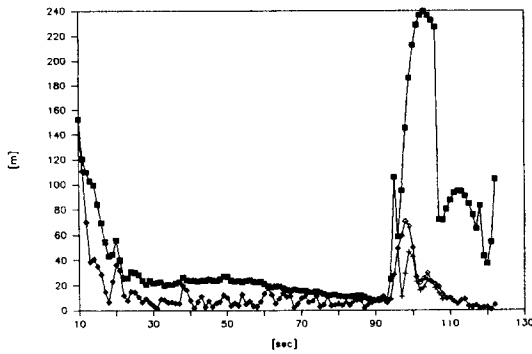


그림 4.3 시나리오 F에 대한 추정오차(위치)

Fig. 4.3 Estimation Errors for Target Scenario F(pos.)

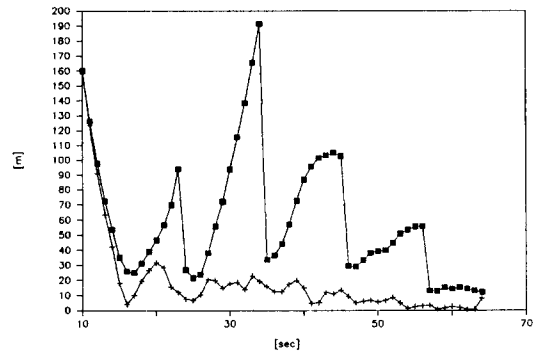
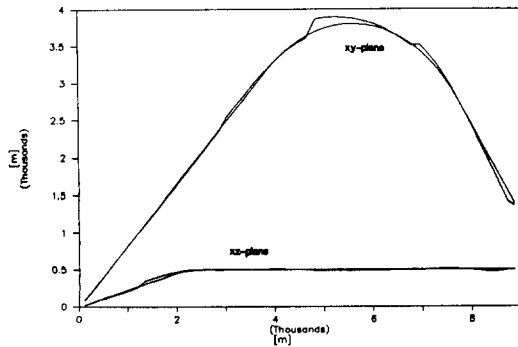


그림 4.5 시나리오 S에 대한 추정오차(위치)

Fig. 4.5 Estimation Errors for Target Scenario S(pos.)



(a) CHP 알고리즘(CHP algorithm)

그림 4.4 시나리오 S에 대한 추적성능

Fig. 4.4 Tracking Performance of Target Scenario S

5. 결 론

표적에 대한 추적필터 시스템은 실시간으로 동작하여야 하며, 표적의 기동이 있을 경우에도 양호한 성능을 보유하여야 한다. 표적의 기동이 없는 경우는 위치와 속도만을 고려한 추적필터로도 양호한 성능을 얻을 수 있으나, 기동을 하는 표적에 대해서는 특별한 기법을 사용하여야 추적이 가능하다. 이러한 기동표적을 추적하는 방법의 하나로 Chan등이 제안한 CHP알고리즘은 표적의 기동이 완만할 경우 오차가 누적되어야만 비로서 기동이 검출되어 보상됨으로써 과보상의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Singer가 제안한 가속도 모델과 CHP알고리즘을 결합한 추적필터 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 평가하였다. 또한, 표적의 측정치에서 구한 의사 가속도를 사용한 추적필터를 제안하였으며, 이 경우 기동시작시간도 함께 추정하여 과보상의 문제를 완화시켰다.

시뮬레이션결과 표적의 위치와 속도만 고려한 CHP알고리즘보다 표적의 가속도도 고려하고 기동검출 논리를 포함시킨 필터가 기동이 완만한 경우나 기동이 급격한 경우 모두 양호한 성능을 보여주었다. 그러나, 가속도까지 고려한 CHP알고리즘은 윈도우크기를 1이라 할때 31x31크기의 역행렬을 계산해야 하는 등 계산량이 많으므로 실시간구현에 어려움이 있다.

의사가속도를 사용한 추적필터는 한축에 대해서만 유도가 되었으므로 세축으로의 확장이 필요하며, 세축에 대하여 각각 구성된 경우 필터의 세축에 대한 연관항(coupling term)을 고려하지 못함으로 인한 오차가 있어 가속도까지 고려한 CHP알고리즘보다 조금 못한 성능을 보였으나 전반적인 성능은 가속도를 고려하지 않은 CHP알고리즘보다 우수하였다.

앞으로의 연구과제는 표적의 가속도까지 고려한 CHP알고리즘의 계산시간을 줄이기 위한 세축의 분리(decoupling)문제와 의사가속도를 사용한 추적필터를 세축에 대하여 확장하는 것이다.

참고문헌

- [1] C.B. Chang, J.A. Tabaczynski, "Application of State Estimation to Target Tracking," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. AC-29, Feb., 1984
- [2] Arthur Gelb, *Applied Optimal Estimation*, MIT Press, 1974
- [3] R.A. Singer, "Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets," *IEEE Trans. Aerosp. Electr. Sys.*, Vol. AES-6, Jul., 1970
- [4] Y.T. Chan, A.G.C. Hu, J.B. Plant, "A Kalman Filter Based Tracking Scheme with Input Estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electr. Sys.*, Vol. AES-15, Mar., 1979
- [5] Y.T. Chan, J.B. Plant, J.R.T. Bottomley, "A Kalman Tracker with a Simple Input Estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electtr. Sys.*, Vol. AES-18, Mar., 1982
- [6] P.L. Bogler, "Tracking a Maneuvering Target Using Input Estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electr. Sys.*, Vol. AES-23, May, 1987
- [7] 이창규 외, 맨-머신 시스템 효율증대에 대한 연구, 서울대학교 공과대학 제어계측공학과, 1989