

## 견실한 $H_\infty$ FIR 필터를 이용한 기동표적의 추적

### Tracking a Manuevering Target Using Robust $H_\infty$ FIR Filter

°유 경 상\*, 류 희 섭\*\*, 권 오 규\*\*

\* 두원공법전문대학 전기과 (Tel: 0334-676-6433; Fax: 0334-676-7689)

\*\* 인하대학교 전기공학과 (Tel: 032-860-7395; Fax: 032-863-5822; E-mail: okkwon\_95@dragon.inha.ac.kr)

**Abstracts** In previous work Kwon and Yoo [5] have shown that the FIR tracking algorithm using the input estimation technique. However, it has not solved the problem of systems with parameter uncertainties. Therefore, in this paper we propose a new robust  $H_\infty$  FIR tracking filter to solve the target tracking problems under systems with parameter uncertainties. Also, we use here the input estimation approach to account for the possibility of maneuver. Simulation results show that the robust  $H_\infty$  FIR tracking filter proposed here still has good tracking performance for a maneuvering target tracking problem even under all system parameter uncertainties.

**Keywords** Robust  $H_\infty$  FIR filter, maneuvering target tracking, parameter uncertainty, Kalman filter

#### 1. 서론

기동표적의 추적문제는 전략적 측면에서 매우 중요하기 때문에 GNC (Guidance, Navigation and Control) 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔다(3-8). 표적추적 문제에 사용하는 추적필터를 구분하면 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 최근의 측정데이터에 가중치를 주는 유한기억 필터 (Limited memory filter)에 의한방법, 기동검출논리 (Maneuver detection logic)를 이용하여 기동입력을 보상하는 방법, 여러 개의 부필터 (Sub-filter)출력의 베이시안 합 (Bayesian sum)을 이용하는 방법들이 있다. 이 가운데 가장 많이 쓰이는 방법은 기동검출 논리를 이용한 방법이며, 이에 속하는 기법으로는 기동검출시에 공정잡음의 공분산을 보상하는 Q보상 기법, 표적모델을 변환하는 기변차수 필터기법, 기동입력의 크기 및 기동시작 시간 등을 추정하는 입력추정기법 등이 있다.

기존의 기동검출 및 추적법에서는 추정자로서 대부분 칼만필터를 사용하는데, 칼만필터를 이용하여 기동표적의 추적을 수행할 때에는 모델링 오차에 대한 필터의 발산문제와 계산량이 많아지는 문제점이 있다. 이러한 문제점 중에서 발산문제를 해결하기 위해 Kwon 등 [5]은 제어입력을 갖는 FIR필터를 이용한 기동검출 및 표적추적법을 제시하였다. 이 기법은 입력추정기법의 일종으로서, 최적 FIR (Finite Impulse Response)필터 (1,2)를 이용하여 기동을 검출하고 표적의 추적을 수행하는 것인데, FIR 필터의 구조적 특성 때문에 모델링 오차에 대해서 견실한 특성을 가지고 있다. 또한 하나의 문제점인 계산량 문제에 대한 대책으로는 민 등 [6]이 표적의 위치, 속도 그리고 기동 가속도 입력을 단일 필터로써 추적해 낼 수 있는 새로운 FIR 추적필터를 제시하였다. 그런데 FIR 추적 필터는 관측 오차에 대하여 우수한 추적 성능을 보였으나 시스템의 모든 변수에 불확실성이 존재하는 경우에는 추적성능이 만족스럽지 못한 특성을 보인다.

시스템의 모든 변수에 불확실성이 존재하는 가장 어려운 상황에서 시스템의 추정 문제를 원활하게 수행하기 위한  $H_\infty$  필터 기법들이 최근에 많이 제안되고 있는데(10,11), 이 방법들 중에서 Kwon 등은 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 제안하였다. 이 방법은 유한구간의 구조적인 특성으로 인하여 모델링 오차에 대하여 견실한 성능을 보임을 입증하였다(9).

그러므로 이 논문에서는 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 이용한 새로운 기동검출 및 추적방법을 제시한다. 이 방법은 기동검출 및 추적문제에서 발생하기 쉬운 시스템 모델과 관측센서에 모델링 오차가 동시에 존재하는 경우에 기동검출과 추적을 원활하게 수행하기 위해 제시하는 새로운 기법이다. 또한 기동검출 및 추

적법으로는 제어입력을 갖는 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 이용한 입력추정기법을 이용하는데 이 기법은 FIR 필터의 구조적 특성 때문에 모델링 오차에 대해서 견실한 특성을 가지고 있다.

기동검출 및 추적문제에서는 추적필터의 성능은 필터자체 뿐만 아니라 모델의 적합성에 따라서도 크게 달라지게 된다. 표적 모델로서 Singer(8)는 가속도를 멱평균 시간상관 자기회귀 과정 (Time-correlated auto-regressive process)인 1차 마코프 과정 (Markov process)으로 묘사하여 표적모델을 제시하였는데, 이 모델은 표적이 단시간 기동 혹은 작은 크기의 기동을 행할 경우에 알맞은 모델이 될 수 있으나, 표적이 장시간 혹은 큰 기동을 행할 경우에는 알맞은 모델이 될 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 표적모델이 제시되었는데(4,5,7), 이 논문에서는 [3]에서 제시한 개선된 모델을 사용할 것이다.

#### 2. 견실한 $H_\infty$ FIR 필터를 이용한 추적법

##### 2.1 견실한 $H_\infty$ FIR 필터

불확실한 선형 시변 이산형 시스템을 고려하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}x(i+1) &= [A + \Delta A]x(i) + Bu(i) \\y(i) &= [C + \Delta C]x(i) + Dw(i) \\z(i) &= Lx(i)\end{aligned}\tag{2.1}$$

여기서  $x \in R^n$  상태벡터,  $w \in R^r$  잡음벡터로  $l_2[0, \infty)$ 에 속한다.  $y \in R^m$  측정 출력치,  $z \in R^p$  추정되는 상태변수들의 선형결합이다.  $A, B, C, D, L$ 은 양 수 있는 유계의 공칭 시스템으로서 다음의 조건을 만족한다.

$$DB^T = 0, \quad DD^T > 0 \quad \forall i,\tag{2.2}$$

그리고  $\Delta A, \Delta C$ 는 계수 불확실성을 나타낸다. 이러한 불확실성은 아래의 구조와 같이 가정한다:

$$\begin{bmatrix} \Delta A \\ \Delta C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{bmatrix} FE\tag{2.3}$$

여기서  $H_1, H_2, E$ 는 적절한 차원의 이미아는 실상수 행렬이고,  $F \in R^{r \times s}$ 는 다음을 만족하는 미지의 서변 실행렬이다.

$$F^T F \leq I \quad \forall i,\tag{2.4}$$

위에서 사용한 덧셈자 'T'는 전치행렬을 나타내고,  $I$ 는 적

당한 차원의 단위행렬을 나타낸다. 표시  $X \geq Y$  ( $X > Y$ )는  $X - Y$ 를 의미하며 준정치를 나타낸다(반면, 정치).

그러므로 (2.3) 식의 정합조건을 이용하여 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 유도할 수 있다. 우선 기동이 발생하지 않은 경우의 표적모델을 다음과 같이 표현할 때

$$\begin{aligned} x(i+1) &= \hat{A}x(i) + \hat{B}\hat{w}(i) \\ y(i) &= \hat{C}x(i) + \hat{D}\hat{w}(i) \\ z(i) &= Lx(i) \end{aligned} \quad (2.5)$$

여기서

$$\begin{aligned} \hat{A} &= A + \gamma_i^{-2} \hat{B} \hat{B}^T M(i, 0) A \\ \hat{B} &= \bar{B} [I - \gamma_i^{-2} \bar{B}^T M(i, 0) \bar{B}]^{-1/2} \\ \hat{C} &= C + \gamma_i^{-2} \hat{D} \hat{B}^T M(i, 0) A \\ \hat{D} &= \bar{D} [I - \gamma_i^{-2} \bar{B}^T M(i, 0) \bar{B}]^{-1/2} \\ \bar{B} &= \begin{bmatrix} B & \gamma_i H_1 \\ \epsilon_i & H_2 \end{bmatrix}, \quad \bar{D} = \begin{bmatrix} D & \gamma_i H_2 \\ \epsilon_i & H_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

그리고  $M(i, 0)$ 는 다음의 리카티 차분 방정식의 해이며,

$$\begin{aligned} M(i, n-1) &= A^T M(i, n) A + \gamma_i^{-2} A^T M(i, n) \\ &\quad \times \bar{B} [I - \gamma_i^{-2} \bar{B}^T M(i, 0) \bar{B}]^{-1} \bar{B}^T M(i, n) A \\ &\quad + \epsilon_i^2 E^T E, \quad M(i, N) = 0, \quad 1 \leq n \leq N \end{aligned} \quad (2.6)$$

모든  $n$ 에서  $I - \gamma_i^{-2} \bar{B}^T M(i, 0) \bar{B} > 0$ 이다.  $\hat{w}(i) \in R^{q+}$ 은  $l_2[0, \infty)$ 에 속하는 잡음신호이고,  $\epsilon_i > 0$ 는 각 구간  $[i-N, i]$ 에서 선택하는 스케일링 변수이다.  $\gamma_i > 0$ 는 견실한  $H_\infty$  추정에서 얻어야 하는 외란 감쇄 수준이다.

식(2.6)에서 상태  $x(\cdot)$ 에 대한 견실한  $H_\infty$  FIR 필터는 다음과 같이 정의한다[9]:

$$\hat{x}(i+1 | i; N) = \sum_{k=i-N}^i H(i, k; N) y(k) \quad (2.7)$$

$$\hat{z}(i+1 | i; N) = L(i+1) \hat{x}(i+1 | i; N) \quad (2.8)$$

그리고 필터의 추정오차는 다음과 같다.

$$e(i+1) = z(i+1) - \hat{z}(i+1 | i; N). \quad (2.9)$$

여기서  $N$ 은 관측정보 구간의 크기이다. 식 (2.6)은 유한구간  $[i-N, i]$ 의 관측치  $y(\cdot)$ 을 이용하여,  $x(\cdot | N)$ 과  $H(\cdot, \cdot; N)$ 는  $N$ 의 함수임을 나타낸다.

(2.6)식이 평등 완전관측 가능하고 시스템 행렬  $\hat{A}$ 가 정칙일 때, 견실  $H_\infty$  FIR 필터는  $x(i-N-1)$ 의 상호분산을  $P(i-N, i-N) = \beta^2 I$ 로 보면 시불변이 되어 필터식을 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$\hat{x}(i+1 | i; N) = \sum_{k=i-N}^i H(i-k; N) y(k) \quad (2.10)$$

$$H(i, j; N) = S^{-1}(i, N+1) L(i, j; N), \quad i-N \leq j \leq i \quad (2.11)$$

$$L(i, j; n) = S(i, n+1) \bar{S}^{-1}(i, n) \hat{A}^{-T} L(i, j; n-1), \quad (2.12)$$

$$0 \leq N-i+j+1 \leq n \leq N$$

$$\begin{aligned} L(i, j; N-i+j) &= S(i, N-i+j+1) \hat{A} S^{-1}(i, N-i+j) \hat{C}^T \\ &\quad \cdot [\hat{C} S^{-1}(i, N-i+j) \hat{C}^T + \hat{D} \hat{D}^T]^{-1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} S(i, n+1) &= \bar{S}(i, n) + \bar{S}(i, n) B [I + B^T \bar{S}(i, n) B]^{-1} \\ &\quad \cdot \bar{B}^T \bar{S}(i, n) - \gamma_i^{-2} L^T L, \quad -1 \leq n \leq N \\ S(i, -1) &= \beta^{-2} I - \gamma_i^{-2} L^T L, \end{aligned} \quad (2.14)$$

여기서

$$\bar{S}(i, n) = \hat{A}^{-T} [S(i, n) + \hat{C}^T (\hat{D} \hat{D}^T)^{-1} \hat{C}] \hat{A}^{-1}$$

식(2.11)에서 추정오차 상호분산은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{P}(i+1) &:= E[x(i+1) - \hat{x}(i+1 | i; N)] \\ &\quad \cdot [x(i+1) - \hat{x}(i+1 | i; N)]^T \leq R(i, N). \end{aligned} \quad (2.15)$$

위에 주어진 견실한  $H_\infty$  FIR 필터의 초기상태 상호분산  $P(i-N, i-N)$ 은 유계로 주어져야 한다. 그러나 이동구간에서 매 구간 초기상태 구간을 정의한다는 것은 실제적이지 못하다. 그러나 비록 초기 상태 상호분산을 모르더라도  $P(i-N, i-N) = \beta^2 I$ 에서  $\beta$ 를 설계변수로 취하여 상호분산의 초기치를 가정할 수 있다.

식(2.6)은 기동이 존재하지 않을 경우의 표적모델 이므로, 기동입력이 존재할 경우에 식(2.6)은 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$\begin{aligned} x(i+1) &= \hat{A}x(i) + \hat{B}\hat{w}(i) + Gu(i) \\ y(i) &= \hat{C}x(i) + \hat{D}\hat{w}(i) \\ z(i) &= Lx(i) \end{aligned} \quad (2.16)$$

여기서  $Gu(\cdot)$ 가 기동입력항을 나타낸다. 이 시스템에 대한 견실한  $H_\infty$  FIR 필터는 다음과 같이 주어진다:

### 보조정리 2.1 [9]:

식(2.16)의 시스템이 완전관측가능하고 시스템행렬  $\hat{A}$ 가 정칙이고 초기상태 상호분산이  $P(i-N, i-N) = \beta^2 I$ 로 주어졌을 때, 견실한  $H_\infty$  FIR 필터는 다음과 같이 시불변이 된다:

$$\hat{x}(i+1 | i; N) = \sum_{k=i-N}^i [H(i, k; N) + Hu(i, k; N)] y(k) \quad (2.17)$$

$$\hat{z}(i+1 | i; N) = L(i+1) \hat{x}(i+1 | i; N)$$

$$\begin{aligned} H_u(i, k; N) &= \sum_{j=i-N}^k H(i, j; N) \hat{C} \Phi(j, k) G, \\ 0 \leq N-i+j \leq n \leq N-1. \end{aligned} \quad (2.18)$$

여기서,  $\Phi(\cdot)$ 는  $\hat{A}$ 의 천이행렬이고,  $H(\cdot; N)$ 는 식 (2.11)에서 (2.14)로 부터 구한다.

### 2.2 입력추정법에 의한 $H_\infty$ FIR 추적 필터 알고리즘

기동입력이 상수이고 ( $u(\cdot) = \hat{U}_0$ ) 이 값을 알고 있는 경우에는 식(2.17)의 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 써서 추적을 할 수 있으며, 이 필터의 잔류치는 다음과 같이 정의된다:

$$r(i) := y(i) - C \hat{x}_0(i+1 | N) \quad (2.19)$$

여기서  $\hat{x}_0(\cdot | N)$ 는 기동입력이  $\hat{U}_0$ 일 때의 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 나타낸다. 표적이  $i-M-1$ 시점에서 또다른 기동을 일으켰을 때, 이 기동입력도 알고 있는 경우에 견실한  $H_\infty$  FIR 필터의 추정치를  $\hat{x}_m(\cdot | N)$ 이라 하면, 이 필터의 잔류치는 다음과 같이 정의된다:

$$\begin{aligned} r_m(i) &:= y(i) - C \hat{x}_m(i+1 | N) \\ &= r(i) - C \sum_{k=i-M}^i H_u(i-k; N) U_m \\ &= r(i) - \psi_M U_m \end{aligned} \quad (2.20)$$

여기서,

$$\psi_M = C \sum_{k=0}^M H_u(k; N)$$

이고,  $M$ 은 기동검출을 위한 데이터 관측 구간의 크기이며,  $M \leq N$ 의 값으로 취한다. 식(2.20)의 두번째 등식은 구간  $[i-M-1, i]$ 동안 기동입력이 다음과 같이 상수값  $U_m + U_o$ 로 고정되어 있다는 가정 하에 유도된 것이다.

$$u(k) = \begin{cases} \hat{U}_o, & k < i-M-1 \\ U_m + \hat{U}_o, & k \geq i-M-1. \end{cases}$$

여기서,  $U_m$ 는 제2의 기동입력이며 상수로 가정한다. 따라서, 식(2.20)으로부터

$$r(k) = \psi_{M-k+i}U_m + r_m(k) \quad i-M \leq k \leq i \quad (2.21)$$

위와 같이 되는데, 여기에서 잔류치  $r_m(\cdot)$ 은 영평균 백색잡음이므로, 식(2.22)로부터 기동입력  $U_m$ 의 최소자승추정은 다음과 같다:

$$\hat{U}_m = [\Psi^T \Psi]^{-1} \Psi^T R_r(i) \quad (2.22)$$

$$\Psi = \begin{bmatrix} \psi_M \\ \psi_{M-1} \\ \vdots \\ \psi_0 \end{bmatrix}, \quad R_r(i) = \begin{bmatrix} r(i) \\ r(i-1) \\ \vdots \\ r(i-M) \end{bmatrix}$$

식(2.22)의 기동입력 추정치  $\hat{U}_m$ 에 의해서 기동검출변수를 구성하면 다음과 같다:

$$T(i) = \hat{U}_m^T \{E[\hat{U}_m \hat{U}_m^T]\}^{-1} \hat{U}_m \quad (2.23)$$

### 보조정리 2.2 [5]:

제2의 기동이 없는 조건하에서 ( $U_m = 0$ ) 추정입력  $\hat{U}_m$ 은 평균값이 0 이고, 다음의 상호분산을 가진다:

$$E[\hat{U}_m \hat{U}_m^T] = [\Psi^T \Psi]^{-1} \Pi_r [\Psi^T \Psi]^{-1} \quad (2.24)$$

$$\Pi_r = \psi_M^T \Gamma_r \psi_M + \dots + \psi_0^T \Gamma_r \psi_0$$

$$\Gamma_r = E[r(k)r(k)^T] = R(i, M). \quad (2.25)$$

보조정리 2.2 에 의해서 기동검출변수  $T(i)$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다:

$$T(i) = R_r^T \Psi \Pi_r^{-1} \Psi^T R_r \quad (2.26)$$

식(2.26)은 식(2.22)과 (2.24)를 식(2.23)에 대입하여 얻을 수 있다.

기동검출변수  $T(i)$ 는 기동검출 임계값  $\lambda$ 와 비교되어  $\lambda$ 보다 클 경우에는 기동이 발생된 것으로 판정하여 식(2.18)의 제어입력이 있는 건설한  $H_\infty$  FIR 필터식에 기동입력 추정치를 대입하여 보상함으로써 상태추정을 한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_c(i+1|N) &= \sum_{k=N}^i H(i-k; N)y(k) + \sum_{k=i-N+1}^i H_u(i-k; N)\hat{u}(k-1) \\ &= \hat{x}(i+1|N) + \sum_{k=i-N+1}^i H_u(i-k; N)\hat{u}(k-1). \end{aligned} \quad (2.27)$$

여기서

$$\hat{u}(k) = \begin{cases} \hat{U}_o, & k < i-M-1 \\ \hat{U}_m + \hat{U}_o, & k \geq i-M-1 \end{cases}$$

이고  $\hat{U}_m$ 는 식(2.22)의 기동입력 추정치이고,  $\hat{x}_c(\cdot|N)$ 는 기동입력추정치  $\hat{u}(\cdot)$ 을 써서 보상시킨 추정치이다. 이러한 절차를 반복하면 목표물이 또 다른 기동을 일으킨다 하더라도 그 기동입력을 추정하여 지속적으로 표적추적을 수행할 수 있게 된다.

위에서 제시한 표적추적법은 입력추정기법에 근거한 것인데, 이에 속하는 기존의 결과들로는 Bogler[4], Chan 등[7]이 제시한

것이 있다. 그런데 이 방법들은 칼만필터를 사용하기 때문에 표적모델이나 측정과정모델에 모델링오차가 있을 경우에는 필터의 발산문제로 인하여 표적추적에 실패하게 되는 문제점을 지니고 있으며, 또한 입력추정과 기동검출에 필요한 계산량이 관측구간 폭  $N$ 의 제곱에 비례하게 되어 계산량 문제도 안고 있다. 그러나 이 절에서 제시한 방법에서는 모델링 오차에 건설한 FIR필터를 사용하기 때문에 발산문제를 해소하는 장점을 지니고 있다.

### 3. 모의실험

이 절에서는 모의실험을 통하여 기동목표물의 추적문제에 이 논문에서 제안하는 추적알고리즘을 적용하고 그 성능을 검증한다. 따라서 건설한  $H_\infty$  FIR 추적필터의 성능을 확인하기 위한 표적모델은 식(3.16)에서

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 & T & \tau^2[-1+T/\tau+e^{-T/\tau}] \\ 0 & 1 & \tau[1-e^{-T/\tau}] \\ 0 & 0 & e^{-T/\tau} \end{bmatrix}, \quad \hat{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} T^2/2 - \tau^2(-1+T/\tau+e^{-T/\tau}) \\ T - \tau(1-e^{-T/\tau}) \\ 1 - e^{-T/\tau} \end{bmatrix}, \quad \hat{C} = [1 \ 0 \ 0]$$

이고, 샘플링시간  $T$ 는 1초이며, 시스템 잡음의 상호분산은 다음과 같다:

$$Q = 2\sigma_m^2/\tau \begin{bmatrix} q11 & q12 & q13 \\ q12 & q22 & q23 \\ q13 & q23 & q33 \end{bmatrix}, \quad R = I_{3 \times 3}$$

$$q11 = \frac{\tau^5}{2} \left( 1 + \frac{2T}{\tau} - \frac{2T^2}{\tau^2} + \frac{2T^3}{3\tau^3} - e^{-2T/\tau} - \frac{4T}{\tau} e^{-T/\tau} \right)$$

$$q12 = \frac{\tau^4}{2} \left( 1 - \frac{2T}{\tau} + \frac{T^2}{\tau^2} + e^{-2T/\tau} - 2e^{-T/\tau} + \frac{2T}{\tau} e^{-T/\tau} \right)$$

$$q13 = \frac{\tau^3}{2} \left( 1 - e^{-2T/\tau} - \frac{2T}{\tau} e^{-T/\tau} \right)$$

$$q22 = \frac{\tau^2}{2} \left( -3 + \frac{2T}{\tau} - e^{-2T/\tau} + 4e^{-T/\tau} \right)$$

$$q23 = \frac{\tau^2}{2} \left( 1 + e^{-2T/\tau} - 2e^{-T/\tau} \right)$$

$$q33 = \frac{\tau^2}{2} \left( 1 - e^{-2T/\tau} \right).$$

각축의 초기속도는  $x, y, z$ 축 모두  $0.0 \text{ m/sec}$  이고 각축의 초기 위치는  $x, y, z$ 축 모두  $0.0 \text{ m}$ 로 가정하였다.

공칭 시스템은 안정하다고 가정하고 불확실성은 다음과 같이 취한다:

$$H_1 = [0 \ \Delta A \ \Delta A \ \Delta A \ \Delta A \ 0 \ \Delta A \ 0 \ \Delta A]^T$$

$$H_2 = [\Delta C \ 0 \ \Delta C]^T$$

$$E = [0.01 \ 0.02 \ 0.03 \ 0.02 \ 0.03 \ 0.04 \ 0.03 \ 0.04 \ 0.05]$$

$$\Delta A = H_1 * F * E, \quad \Delta C = H_2 * F * E, \quad F = 0 \text{ 과 } 1.$$

설계변수는 다음과 같다:

$$\gamma = 0.5176, \quad \varepsilon = 0.2561, \quad \beta = 0.9500$$

그림 1 과 같이 표적이  $40 \text{ sec}$  동안 등속운동한 후 가속도  $20 \text{ m/sec}^2$ 의 크기로  $20 \text{ sec}$  동안 가속운동을 하는 기동표적에 대하여 건설한  $H_\infty$  FIR 추적필터, FIR 추적필터와 Bogler[4] 알고리즘을 적용하는 30회의 몬트카를로 (Monte Carlo) 모의실험을 수행한 결과를 RMS (Root Mean Square) 추정오차로 나타내었으며, 건설한  $H_\infty$  FIR 필터의 관측구간  $N$ 은 10 이다. 그림 2 는 불확실성이 없는 경우의 건설한  $H_\infty$  FIR 추적필터, FIR 추적필터 와 Bogler 알고리즘 모의실험 수행 결과이며, 그림 3 은 불확실성이 있는 경우의 건설한  $H_\infty$  FIR 추적필터, FIR 추적필터 와 Bogler 알고리즘 모의실험 수행 결과이다.

이 모의실험 결과들에서 볼 수 있듯이, 모델링 오차가 없는 경우에는 3가지 추적필터가 모두 만족할 만한 성능을 보이고 있으나, 모델링오차가 존재하는 경우에 Bogler 알고리즘과 FIR 추적필터의 추적성능이 건설한  $H_\infty$  FIR 추적필터 보다 떨어짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

이 논문에서는 견실한  $H_\infty$  FIR 필터를 이용하여 표적을 추적하는 새로운 방법에 대하여 제안하였다. 기존의 기동검출및 표적 추적법은 대부분 칼만필터를 이용하여 수행하고 있으나, 칼만필터는 시스템에 불확실성이 존재하는 경우에 발산하는 특성 때문에 추적성능이 매우떨어지게 됨을 알 수 있으며, 기존의 FIR 추적 필터도 시스템의 모든 변수에 불확실성이 존재하는 경우 추적성능이 떨어지는 특성을 보였다. 그러므로 이 논문에서 제안하는 견실한  $H_\infty$  FIR 추적필터는 시스템의 모든 변수에 불확실성이 존재하는 경우에도 기동검출과 추적을 원활하게 수행함을 모의실험을 통하여 예증하였다.

#### 참고문헌

- [1] W.H. Kwon, O.K. Kwon and K.S. Lee, "Optimal FIR filters for time-varying state-space models," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. 26, pp. 1011-1021, Nov. 1990.
- [2] O.K. Kwon, W.H. Kwon and K.S. Lee, "FIR filters and recursive forms for discrete-time state-space models," Automatica, Vol. 25, pp. 715-728, Sep. 1989.
- [3] 성 태경, "시선좌표계에서의 분리추적필터및 기동표적을 위한 적응추적필터에 대한 연구," 서울대학교 제어계측공학과 박사학위논문, Aug. 1992
- [4] P.L. Bogler, "Tracking a maneuvering target using input estimation," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. 23, pp. 298-310, May 1987.
- [5] O.K. Kwon, and K.S. Yoo, "Tracking a maneuvering target in uncertain systems using FIR filters with control input," J. of KIEE, Vol. 6, pp. 45-51, Sep. 1993.
- [6] 민병윤, 권오규, 유경상, "제어입력을 갖는 FIR 필터를 이용한 기동표적의 추적," 한국항공우주학회지, Vol. 23, pp. 120-128, Mar. 1995.
- [7] Y.T. Chan, A.G.C. Hu and J.B. Plant, "A Kalman filter based tracking scheme with input estimation," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. 15, pp. 237-244, Mar. 1979.
- [8] R.A. Singer, "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol.6, pp. 473-483, Jul. 1970.
- [9] O.K. kwon, Carlos E. de Souza and H.S. Ryu, "Robust  $H_\infty$  FIR filter for discrete-time Uncertain systems," To appear 35th IEEE CDC.
- [10] U. Shaked and Y. Theoder, "  $H_\infty$  optimal estimation: A tutorial," Proc. 31st IEEE CDC, Tucson, Arizona, 2278-2286, 1992.
- [11] C.E. de Souza and L. Xie, "Robust  $H_\infty$  filtering," Control and Dynamic Systems, vol. 65, pp. 323-377, 1994.

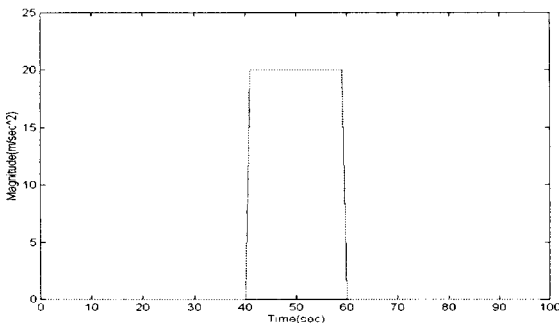
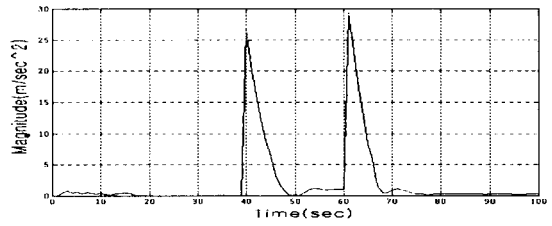
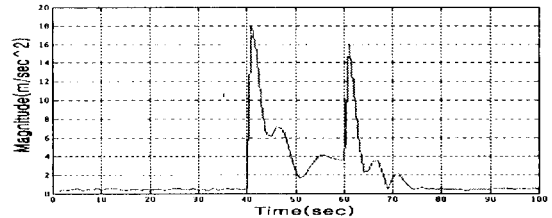


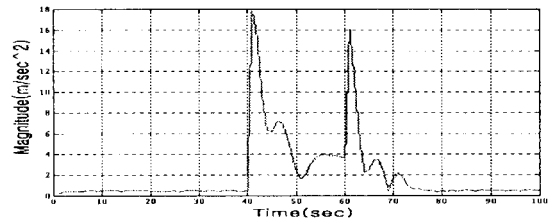
그림 1. 기동입력



(a) Bogler 알고리즘

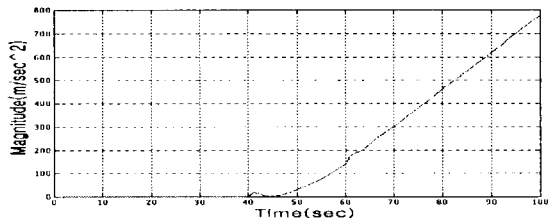


(b) FIR 추적필터

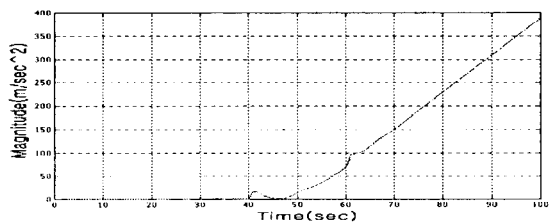


(c) 견실한  $H_\infty$  FIR 필터

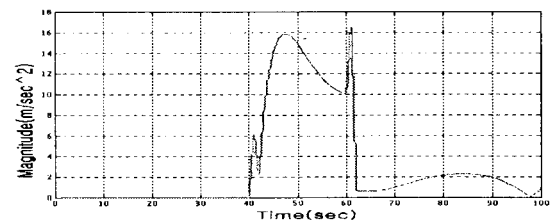
그림 2. 시스템에 불확실성이 없는 경우의 추적오차



(a) Bogler 알고리즘



(b) FIR 추적필터



(c) 견실한  $H_\infty$  FIR 필터

그림 3. 시스템에 불확실성이 있는 경우의 추적오차