

## 차량의 미래위치 추정을 위한 수동추적 시스템의 디지털 필터 설계

### A Digital Filter Design applied to the Manual Tracking System to predict Future Vehicle Position

박 용 운, 강 윤 식, 김 상 원

국방과학연구소

**Abstracts** It is very important to predict the future position for the heavy vehicle with evasive maneuvering. In this paper, we considered for the manual image tracking system. The vehicle images are received from gyro stabilized mirror system, pass through the optical lens, processed, and displayed on the TV monitor. The operator try to lay the reticle to the center of vehicle image. When the vehicle is moving, the mirror platform (actually the line of sight) should follow the vehicle and the angular rate information is picked up from the mirror stabilized system. This rate signal should be used to predict the future vehicle position. The problem is that the visual system of the human operator is in the closed loop system. The rate signals are disturbed by the operator. In addition, there are some non linearities concerned with the control handle bar and the servo control system. The proposed Kalman filter, combined with some modifications for operator disturbance rejection, improved the prediction of the future vehicle position when compared with the conventional passive filter used.

**Keywords** Tracking, Maneuvering, Human operator, Kalman filter

#### 1. 서론

가속도운동을 행하면서 기동하는 차량을 추적할 목적으로 궤도차량에 탑재된 전자광학 추적시스템은 운용자에 의해 수동으로 운용된다. 영상(Thermal Image) 장치를 통해서 입력된 상대방차량의 영상이나 광학장치를 통해서 입력된 영상을 운용자가 조준을 행하거나 추적을 정확하게 실시하여 미래의 시점에는 차량이 어느 위치에 도달할 것 인지를 정확히 예측하여야 한다. 이를 달성하기 위해서 궤도차량에는 대부하의 무장용 구동장치와 이를 구속시켜주는 정밀 추적장치 그리고 미래위치 및 관련 Offset 를 계산하는 컴퓨터로 구성되어 있다. 이동차량의 미래위치의 예측은 무장의 명중율을 증가시키는 가장 중요한 요소중에 하나인 것으로 연구된 경험 있다[1]. 한편 이동하는 차량위에서 계속적인 외란등을 받는 상태에서 이동하는 차량 목표물을 수동 핸들바를 이용하여 추적하는 것은 상당히 어려운 작업이나 아직은 지상의 복잡한 환경하에서 영상을 이용하여 자동으로 추적하는 시스템이 사람의 시각보다는 뒤떨어지므로 아직은 완전히 채택되지 못하고 계속적으로 연구가 진행되고

있다. 본 논문에서는 그림 1 과 같은 제어시스템에서 운용자가 상대방차량의 위치( $\theta_T$ )와 추적시스템의 차선(Reticle)의 위치( $\theta_S$ )위치와의 오차와 차량의 속도를 인지하여 이에 상응하는 명령을 무장을 이동시키는 유압구동장치와 전자광학 조준경에 동시에 속도명령으로 전달하여 최종적으로 오차가 영(Zero)이 되도록하는 시스템이다. 한편 운용자가 명령한 속도명령이 미러(Mirror) 안정화 장치에 전달하여 최종 속도 출력을 얻게되고 미러 플랫폼에 설치된 속도적분 자이로 센서가 최종 페루프를 구성하게 되어 있다.

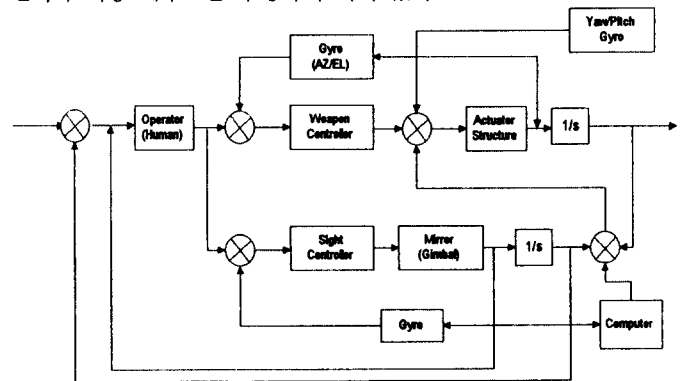


그림 1 Control System Block Diagram

한편 미러 안정화 장치는 보통 Type 3 시스템으로 속도 명령의 추종능력도 중요하지만 무엇보다도 외란에 대한 안정화 성능이 우선적으로 요구되도록 설계되어 있다[2]. 미러 안정화 장치에서 획득된 속도 명령은 그림 1 에서와 같이 디지털 컴퓨터에 입력되고 컴퓨터는 이 신호를 이용하여 상대방 차량의 속도 및 가속도를 예측하며 이를 이용 미래의 위치를 예측하도록 되어 있다. 종전의 컴퓨터는 미러 안정화 장치에서 획득된 속도 신호를 필터링하여 상대방 차량의 미래 위치를 예측하는 정도의 수동 필터로 구성되어 있었다. 이는 상대방 차량이 등속도 운동만 할 경우 충분한 정확도를 얻을 수 있었지만 차량이 조향이나 나아가서 상대방 차량의 연속적인 추적을 피하기 위하여 회피기동 (Evasive Maneuvering)을 행할 경우는 2 차원 평면의 영상관점에서 보면 가속도 운동이 되므로 기존의 수동 필터를 이용하여 미래의 위치를 예측하면 많은 오차가 발생하게 된다. 그리고 차량이 약 1~2 Km 에서 움직이는 경우 수직이동량은 수평에 대해서 상대적으로 적으므로 수평의 변화에 대해서만 고려를 하며 또한 추적기 탑재 차량의 자세에 따른 보상은 실제 제어기에서 좌우경사각을 보상하는 방식으로 되어 있다.

한편 차량의 회피기동 혹은 노면의 굴곡이나 곡선에 따른 기동의 운동역학을 묘사하는 것은 상당히 어려운 일이나 Singer[3]는 가속도를 영(Zero) 평균 시간상관 자기회귀 프로세스(time-correlated auto-regressive process)인 1차 마르코프 프로세스로 모델링하여 표적의 모델을 제시하였다. 만일 상대 차량의 가속도 시간계수(acceleration time constant)와 분산을 정확히 알 수 있다면 칼만 필터는 상대 차량의 최적 위치 추정이 가능하다. 그러나 현재는 상대 차량에 대한 기동모델의 연구가 아직은 불충분하므로 몇 개의 대표적인 기동형상에 대해서 시간에 대해서 상관이 영인 가우시안 잡음의 등가속도 모델을 사용하여 칼만 필터를 설계하여 미래 위치를 추정하였다.

2 장에서는 운영자를 포함한 제어 시스템의 모델링을 실시하고 또한 정지간 등속도 추적 시뮬레이션을 통한 입증을 실시한다. 3 장에서는 입증된 모델에 대하여 대표적인 기동시나리오에 대해서 등가속도 (constant acceleration) 모델에 대하여 기존의 수동 필터 와 칼만 필터에 의한 성능비교를 실시하며, 시스템의 레드밴드 비선형 특성 및 운영자의 리드에 의한 성능저하를 보상하기 위한 출력단의 필터를 설계하여 향상된 미래 위치 예측성능을 보인다.

## 2 제어 시스템 모델링 및 입증

### 2.1 모델링

그림 1에서 제시된 것과 같이 인간공학적인 운영자의 제어모델을 포함한 추적 시스템의 전체 모델은 그림 2와 같다. 전체 제어루프의 일부분으로 포함된 운영자의 제어 모델은 그림 3 과 같이 표시된다. 운영자의 인간공학적인 모델은 참고문헌 [4]에서 제시된 모델을 기준으로 사용하였으며 첫째 블락은 사람의 시각계의 제어 응답성적을 나타내고, 다음의 Dead Zone은 영상의 분해 및 차선의 특성상 0.1(mil)의 오차이상을 제어할 수 없는 특성을 보이며, 다음 블락은 시각에서 핸들바로 전달되는 신경계의 지연으로 Pade Approximation을 사용하였으며, 다음의 블락은 적분기를 포함하여 오차를 줄이려는 리드(Lead)항목으로 표현된다. 그림 4의 핸들바는 중립지역(Neutral Zone)에서의 안정성확보를 위한 Dead Zone, 잡음제거를 위해서 사용된 변조된 핸들신호의 복조기, 뒷단의 저주파통과 필터(LPF), 전기적으로 설정된 Dead Zone, 위치에 따라 다른 속도명령을 나타내는 회로 (Speed-up 회로) 등으로 구성된다. 그림 5의 추적서보모델은 속도적분자이로, 제어기, 저주파통과 필터, 모터 및 미러와 김벌구조물로 구성된 플랜트 모델로 구분할 수 있으며, 속도 추종 루프로 구성되어 있으며 25Hz 이상의 대역폭을 지니고 있다.

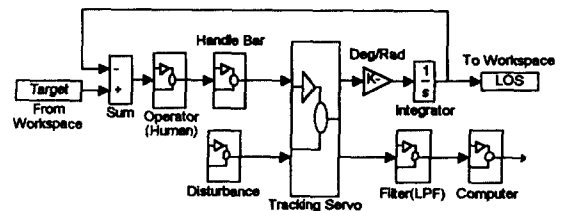


그림 2. 추적시스템 모델

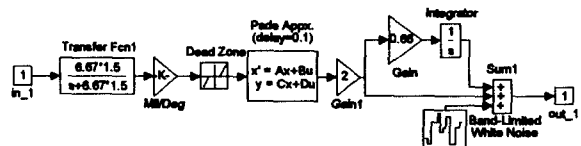


그림 3. 운영자 제어 모델

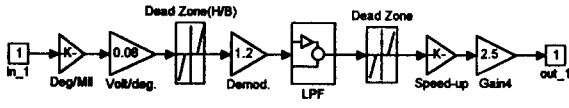


그림 4. 핸들바(H/B) 비선형 모델

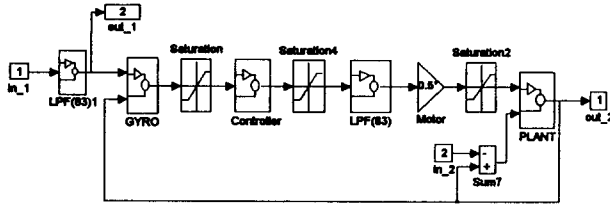


그림 5. 추적 서보 모델

### 2.2 모델 입증

우선 이동차량에 대한 추적 필터를 설계하기전에 전체 시스템에 대한 모델을 입증할 목적으로 1000m 에서 1°/sec 등속도로 이동하는 차량에대한 추적시험 결과 조준오차는 그림 6 과 같으며, 핸들바의 위치 신호는 그림 7 과 같다. 이는 운용자의 실제 연습이나 익숙도에 따라 어느 정도 차이는 있겠지만 유사한 특성을 보이고 있다.

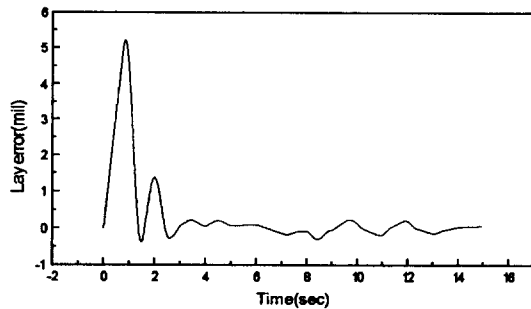


그림 6 주준오차 반응

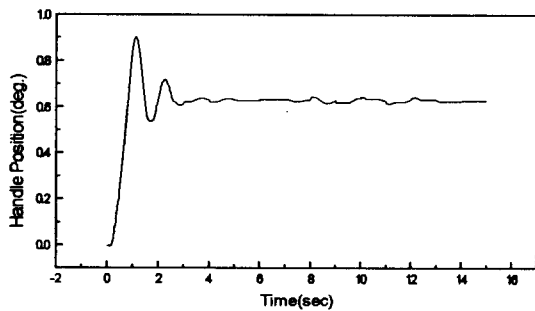


그림 7 핸들바의 위치 반응

### 3. 필터설계 및 입증

본연구에서 사용된 이동 차량을 추적하기위한 추적 필터로는

칼만 필터를 사용하였다. 우선 차량의 기동모델에 대한 상세한 연구가 진행되어야하나 현단계에서 차량의 회피기동 모델에대한 충분한 연구가 되어 있지 않으므로 간단한 등가속도 모델을 이용하기로 한다. 또한 차량의 경우 수직방향으로의 이동이 별로 없으므로 수평방향으로의 변화에 대해서만 차량의 미래위치예측을 현재의 상태측정으로 부터 실현해 본다.

등가속도모델에 대한 상태변수는 다음과 같다.

$$X = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $x_1(t), x_2(t)$  및  $x_3(t)$ 는 방위각 방향의 각도, 각속도 및 각가속도가 된다. 상태방정식을 평균이 영이고 백색잡음으로 간주된 가속도변화 잡음이 차량의 상태운동을 야기한다고 가정하면 다음의 식으로 상태방정식을 쓸수 있다.

$$\dot{X}(t) = FX(t) + Gw(t) \quad (2)$$

여기서  $F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

연속적인 짧은 시간 ( $t_{k+1}, t_k$ )에 대해서 적용하면 다음의 디지털 상태방정식으로 표시할 수 있다.

$$X(k+1) = \Phi(k+1, k)X(k) + \Gamma(k+1, k)w(k) \quad (3)$$

여기서

$$\Phi(k+1, k) = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma(k+1, k) = [T^3/6 \quad T^2/2 \quad T]^T \quad \text{이다}$$

한편 maneuver 잡음을 영평균 가우시안으로 간주하면

$$E\{w(j)w'(k)\} = Q(k)\delta_{jk} \quad (4)$$

여기서  $Q(k) = \sigma_w^2$  이된다. 한편 측정방정식은 다음과 같다.

$$Z(k+1) = HX(k+1) + v(k+1) \quad (5)$$

여기서 속도만을 조준경의 자이로 토크에서 획득하며 상태잡음과 측정잡음과의 상관성이 없다고 간주하고 측정잡음의 분산의 크기를  $\sigma_v^2$  라 한다. 여기서 최적의 필터링을 위해서는 잡음의 특성이 백색이라야하고 그 크기를 정확히 알아야하나 실제 차량이 어떤형태의 Maneuvering 을 행한다는 통계적인 자료가 부족하므로 적당한 잡음의 크기를 간주하고 필터링을 행하면 suboptimal 의 필터링을 행할 수 있다. 여기서 사용된 칼만 추정관계식은 다음과 같다.

$$P(k+1/k) = \Phi P(k/k) \Phi' + \Gamma Q(k) \Gamma' \quad (6)$$

$$K(k+1) = P(k+1/k) H' [H P(k+1/k) H' + \sigma_v^2]^{-1} \quad (7)$$

$$\hat{X}(k+1/k+1) = \Phi \hat{X}(k/k) + K(k+1) [Z(k+1) - H \Phi \hat{X}(k/k)] \quad (8)$$

$$P(k+1/k+1) = [I - K(k+1)H] P(k+1/k) \quad (9)$$

여기서 공분산은

$$P(j/k) = E\{[X(j) - \hat{X}(j/j)][X(k) - \hat{X}(k/k)]'\} \text{ 으로 표시된다.}$$

적당한 크기의 분산( $Q(k)=10 \times T, R(k)=20 \times T$ ) 선택에 의한 비가시간후의 차량위치를 추정하였다. 그림 8은 차량의 Maneuvering 궤도를 보여주고 있다. 이때 차량의 실제 가속도 및 속도를 추정 및 필터링한 그림은 그림 9 및 그림 10에 보여지고 있다. 그림 11은 기존의 수동필터에 의한 추정과 칼만 필터의 등가속도 모델을 이용한 최종오차의 차이를 보여주고 있다. 이 오차에는 운용자의 조준오차에 의한 차량의 미래위치오차항도 포함되어 있다.

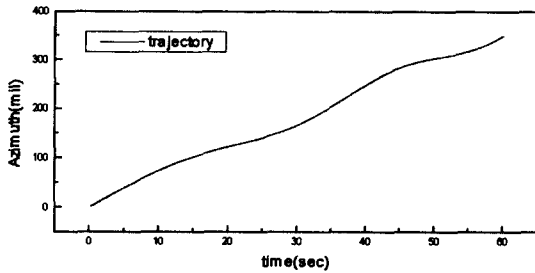


그림 8 차량의 방위각 방향 위치

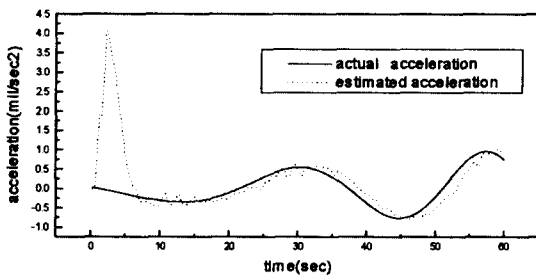


그림 9.가속도 추정비교

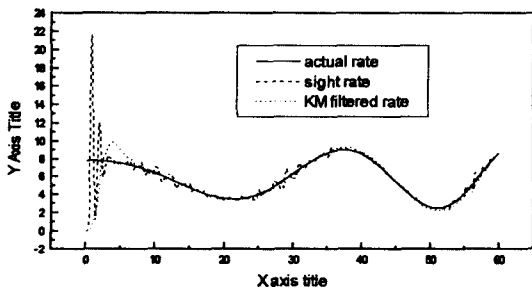


그림 10 속도 추정 및 필터링 비교

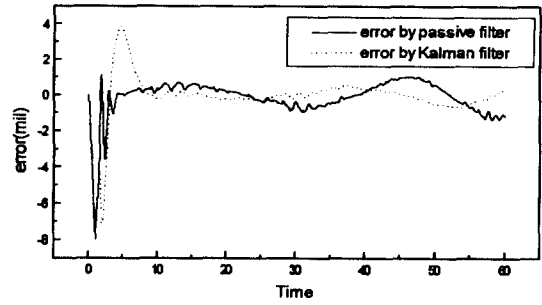


그림 11. 비가시간후의 최종오차 비교

#### 4. 결론

사람이 제어루프내에 포함되어 있는 수동 추적 및 차량 미래위치 예측 시스템을 운용자의 인간공학적인 모델, 추적시스템의 완전한 비선형 모델을 포함하여 설계하였고, 이를 이용하여 기존의 수동필터와의 성능을 비교하였을 때 성능이 향상됨을 보였다.

#### 5. 참고 문헌

- 1) 김호권, 김종규, 박용운, "사격통제장치 오차요소 및 명중율에 관한 연구," 화랑대 심포지움(4회), 1987. 9. 23
- 2) 박용운, 김종규, 박영필, "미러 안정화 장치의 제어기 설계," 한국자동제어 학술대회, 1988. 10. 21
- 3) R.A. Singer, "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering-targets," IEEE Trans. AES, Vol.6, pp473-483, Jul. 1970.
- 4) "Hit Pro." Software Manual, General Electronics