

이동중인 표적에 대한 영상추적기법의 개발

양 승 은* 이 증 헌*
* 부산대학교 기계공학과

이 만 형**
** 부산대학교 정밀기계공학과

Development of Image Tracking Technic to moving Target

Seung Yun Yang Jong Hen Lee
Pusan National Univ.

Man Hung Lee
Pusan National Univ

ABSTRACT

The problem addressed in this paper is the accurate tracking of a dynamic target using outputs from a forward-looking infrared (FLIR) sensor as measurements. The important variations are 1) the spread of the target intensity pattern in the FLIR image plane, 2) target motion characteristics, and 3) the rms value and both spatial and temporal correlation of the background noise. Based on this insights, design modifications and on-line adaptation capabilities are incorporated to enable this type of filter track highly maneuverable targets such as air-to-air missiles, with spatially distributed and changing image intensity profiles, against, background clutter.

I. 서 론

최근 이동표적의 추적을 위해 사용되고 있는 대표적인 제어알고리즘으로 칼만필터기법이 널리 사용되고 있는 대 비선형 다이나믹 시스템의 해석에서 이동표적물에 대한 트래킹과 필터링 문제는 적절한 필터를 사용함으로써 가능하게 되었다. 본 연구의 기본 문제는 관측으로써 FLIR (Forward Looking Infrared) 센서로부터의 출력을 사용하여 동적표적의 정확한 추적이다. FLIR 영상 평면에서 표적의 밀도형상은 사전에 모른다고 가정하고 그것은 다중 hot spot 를 포함하며 실시간에서 변화한다. 그래서 실시간에서 적응적으로 필터링이 실행되어야 한다. 먼저 단순 확장 칼만필터 알고리즘이 동적보다는 점원표적 (Point Source Target) 을 추적하기 위해 설계되어 있다. 이것은 시간과 공간적으로 상관관계가

없는 잡음들에 의해서 고관측 받는다고 가정된 FLIR센서 관측을 기준으로 한다. 특히 FLIR 센서를 통하여 관측할때 중요하게 작용하는 요소는 1) 표적형상의 영상 평면에서의 분포 2) 표적물의 운동동특성과 환경적 외란값 3) 잡음의 공간과 시간의 상관관계들이다. 그리고 모른필터 설계는 FLIR 영상평면에서 표적밀도형상이 단일 모델이 되고 이중분포 밀집모델에 의해 묘사가 잘된다는 가정을 기본으로한다. 본 연구는 위의 세가지 변화요소를 기본으로 하여 표적근접에 대한 공간분포와 변화하는 영상분포를 가진 공대공 미사일과 같은 고도로 책략적인 표적의 추적을 위해 영상분포와 확장 칼만필터와의 결합 가능성과 온라인 적응능력을 검토하는 것이다.

II. 본 론

1. 영상평면에서 밀도형상해석

먼 범위의 목적물은 점원 (Pointing source) 으로 모델링할 수 있고 FLIR 영상평면에서 표적의 밀도분포는 원형 등가 밀도형상을 가진 이중분포 가우시안 밀도형태로 나타낼 수 있다. 아래 그림 1은 FLIR좌표에서 밀도함수를 나타내고 있다.

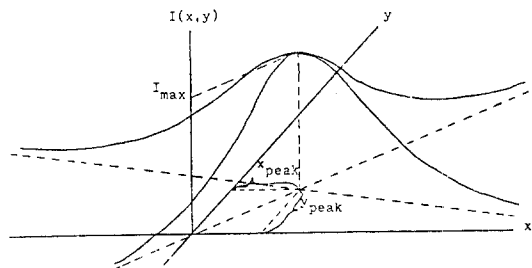


그림 1 이중분포가우시안 밀도모델

이 밀도함수의 방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$I(X, Y) = I_{max} \cdot \exp\left(\frac{-1}{2(1-r)^2} \left(\frac{(X - X_{peak})^2}{\sigma_x^2} + \frac{(Y - Y_{peak})^2}{\sigma_y^2} - 2r \frac{(X - X_{peak})(Y - Y_{peak})}{\sigma_x \sigma_y} \right) \right) \quad (1)$$

여기서, I_{max} = 표적의 최대밀도

X, Y = FLIR축점평면에 있는 임의점의 좌표

X_{peak}, Y_{peak} = 최고밀도의 좌표

r = 영상본산관계

σ_x, σ_y = X 와 Y 방향에의 영상본산

밀도함수는 그림2에서처럼 타원형 등가 밀도영상으로 나타낼 수 있다.

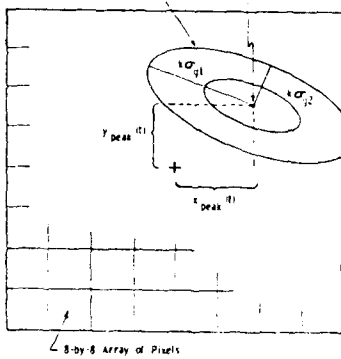


그림 2 영상평면에서의 표적 밀도영상

FLIR FOV(Field of view)에 있는 외관상 표적의 밀도함수의 위치는 실질적으로 실제 표적의 운동, 환경적 외란 그리고 진동에 의한 결과의 합으로 나타낼 수 있다. 즉,

$$X_{peak}(t) = X_d(t) + X_a(t) + X_v(t) \quad (2)$$

$$Y_{peak}(t) = Y_d(t) + Y_a(t) + Y_v(t)$$

여기서, $X_d(t), Y_d(t)$ = 표적다이내믹 프로세스

$X_a(t), Y_a(t)$ = 환경적 퍼짐 외란프로세스

$X_v(t), Y_v(t)$ = FLIR시스템의 진동프로세스

2. 실제표적모델

2-1. 표적다이내믹 프로세스

독립된 입차가우스 - 마르코프(Gauss - Markov) 모델로 실제표적의 시간과의 상관관계를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{X}_p(t) = -1/Z X_p(t) + W_{px}(t) \quad (3)$$

$$\dot{Y}_p(t) = -1/Z Y_p(t) + W_{py}(t)$$

여기서, $W_{dx}(t), W_{dy}(t)$ = 서로 독립된 백색잡음

Z = 상관관계시간

2-2. 환경적 퍼짐외란 프로세스

환경적 퍼짐외란 프로세스는 그림3에 나타난 것처럼 백색 가우시안 잡음에 의해 구동되는 3차 셰이핑 필터(Shaping filter)의 출력으로 모델링 할 수 있다.

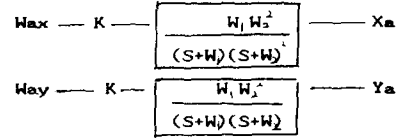


그림 3 3차 셰이핑 필터

2-3. 진동프로세스

FLIR 시스템의 진동은 상대적인 포인팅 에러(Pointing error)를 유발한다. 하지만 본 연구에서는 지지되는 플랫폼은 안전하다고 가정하고 진동 효과는 무시한다.

2-4. 상태공간모델

표적 다이내믹프로세스와 환경적 퍼짐외란 프로세스로 구성된 실제 표적모델을 시불변 벡터 미분방정식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$\dot{X}_T(t) = F_T X_T(t) + G_T W_T(t) \quad (4)$$

여기서,

$$F_T = \begin{bmatrix} -1/Z_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -W_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -W_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -W_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/Z_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -W_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -W_5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -W_6 \end{bmatrix}$$

$$G_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_1 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & 0 & 0 \\ 0 & G_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_4 \\ 0 & 0 & 0 & G_5 \\ 0 & 0 & 0 & G_6 \end{bmatrix}$$

$$G_1 = K W_1 W_2 / (W_1 - W_2)$$

$$G_2 = -G_1$$

$$G_3 = K W_1 W_2 / (W_1 - W_2)$$

2-5. 측정방정식

영상평면에서 8-by-8 행렬의 중심에 상대적인 표적 밀도형상의 외관상의 중심을 $X_{peak}(t)$, $Y_{peak}(t)$ 라 두고 최대밀도값을 I_{max} 그리고 용가 밀도형상을 원형이라 가정하면 식(5)와 같이 표적 밀도모델을 나타낼 수 있다.

$$Z_{ij}(t) = \frac{1}{A_p} \iint I_{max} \cdot \text{EXP} \left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left((X-X_p)^2 + (Y-Y_p)^2 \right) \right) dx dy + N_{ij}(t) + F_{ij}(t) \quad (5)$$

여기서, A_p = pixel의 면적

$N_{ij}(t)$ = i-j번째 pixel에 대한 주위 잡음(Background noise)

$F_{ij}(t)$ = i-j번째 pixel에 대한 FLIR 잡음

3. 확장 칼만필터모델의 구성

다이나믹프로세스모델

$$\begin{aligned} \dot{X}_D(t) &= V_{Dx}(t), \quad \dot{Y}_D(t) = V_{Dy}(t) \quad (6) \\ \dot{V}_{Dx}(t) &= A_{Dx}(t), \quad \dot{V}(t) = A_{Dv}(t) \\ \dot{A}_{Dx}(t) &= W_{Dx}(T), \quad \dot{A}_{Dv}(t) = W_{Dv}(T) \end{aligned}$$

환경적 퍼짐외란 프로세스모델

$$\begin{aligned} \dot{X}_A(t) &= -1/\tau_A X_A(t) + W_A(t) \quad (7) \\ \dot{Y}_A(t) &= -1/\tau_A Y_A(t) + W_B(t) \end{aligned}$$

위의 식(6)과 (7)에 의하여 상태방정식을 구하면 식(8)과 같다.

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + G(t)W(t) \quad (8)$$

측정방정식은 다음과 같다.

$$Z(t) = h(x(t_i), t_i) + v(t_i) \quad (9)$$

$$\text{여기서, } h(x(t), t) = \frac{1}{A_p} \iint I_{max} \text{EXP} \left(-\frac{1}{2\sigma^2} \left((X-X_p)^2 + (Y-Y_p)^2 \right) \right) dx dy$$

위에서 기술한 상태방정식과 측정방정식을 이용하여 확장 칼만필터를 구성하면 다음과 같다.

$$\hat{X}(t_i) = \Phi(t_i, t_{i-1}) X(t_{i-1}) \quad (10)$$

$$P(t_i) = \Phi(t_i, t_{i-1}) P(t_{i-1}) \Phi^T(t_i, t_{i-1}) + \begin{bmatrix} \hat{Q}(t_i, t_i) & G(t_i) Q(t_i) G^T(t_i) \end{bmatrix} \hat{F}^T(t_i, t_{i-1}) \quad (11)$$

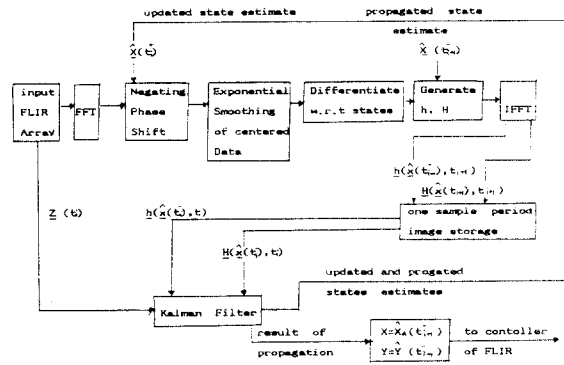
$$P(t_i) = (P(t_{i-1}) + H^T(t_i) R(t_i) H(t_i))^{-1} \quad (12)$$

$$K(t_i) = P(t_i) H^T(t_i) R^{-1}(t_i) \quad (13)$$

$$\hat{X}(t_i) = \hat{X}(t_{i-1}) + K(t_i) (Z(t_i) - h(\hat{X}(t_{i-1}), t_i)) \quad (14)$$

$$\text{여기서, } H(t) = \frac{\partial h(x(t), t)}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}(t)}$$

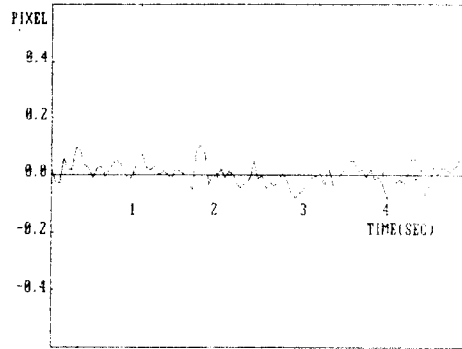
4. 데이터 프로세싱



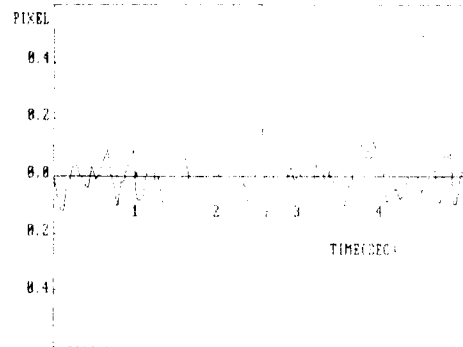
III. 시뮬레이션결과 및 고찰

위치, 속도, 가속도를 성분을 가진 다이나믹 프로세스와 퍼짐 외란 프로세스로 시스템의 상태를 구성하여 시뮬레이션을 하였다.

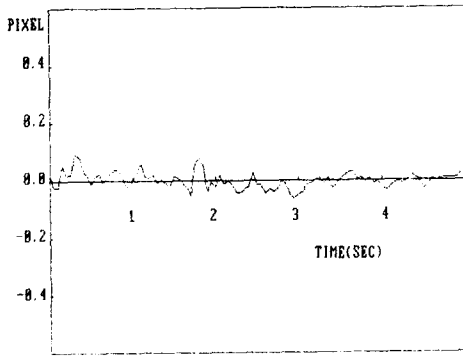
X, Y 방향의 다이나믹 프로세스와 환경적 외란 프로세스에 대한 오차의 그림이 다음과 같이 나타났다



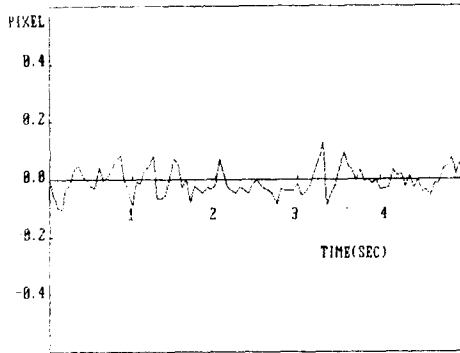
X-CHANNEL DYNAMICS ERROR



Y-CHANNEL DYNAMICS ERROR



X-CHANNEL ATMOSPHERIC ERROR



Y-CHANNEL ATMOSPHERIC ERROR

IV. 결 론

본 연구의 알고리즘은 다중 hot spot로구성된 표적형상이 확정되지 않은 동적목표물을 추적하기위한 목적으로 개발됐다. 시뮬레이션을 위하여 표적다이내믹 프로세스와 환경적 퍼짐 외란프로세스로 모델을 구현하였고, FLIR 관측을 프로세싱하는 확장 칼만필터의 측정모델을 이용하여 표적형상을 나타냈다. 일반적으로 이동중인 미사일과 같이 동특성이 큰 표적을 실시간에서 정확하게 추적하기 위해서는 상태잡음 값의 적응적인 변화와 측정잡음의 적절한 상관관계를 구현하는 것이 매우 중요하다. 특히 주위잡음이 심한 실제 상황에서 필터의 성능을 향상시키기 위해 이 분야에 대한 끊임없는 연구가 계속되어야 할 것이다.

V. 참 고 문 헌

1. Peter S. Maybeck, Stochastic Model, Estimation and Control Vol.1, Academic Press pp.59-405, 1979
2. Peter S. Maybeck, Stochastic Model, Estimation and Control Vol.2, Academic Press pp.39-144, 1979
3. Steven K. Roger, P.S. Maybeck, "Adaptive Tracking of Multiple Hot-spot IR Images", IEEE Trans. on Auto. Control, Vol. AC-28, October, pp937-943, 1980
4. P.S. Maybeck, Robert L. Jenson, Douglas A. Harnly "An Adaptive Distributed Measurement Extended Kalman Filter for Short Range Tracker", IEEE Trans. On Aerospace and Electronic System, ASE-17, pp.173-179, 1981
5. P.S. Maybeck Daniel E. Mercier. "A Target Tracking Using Spatially Distributed Infrared Measurements ", IEEE Trans. on Auto. Control, Vol. AC-25, April, pp222-225, 1980