

The study on target tracking filter using interacting multiple model for tracking maneuvering target

기동표적 추적을 위한 상호작용다수모델 추적필터에 관한 연구

Seung-Woo Kim*

김 승 우*

Abstract

Fire Control System(FCS) errors can be classified as hardware errors and software errors, and one of the software errors is from target tracking filter which estimates target's location, velocity, acceleration, and so on. It affects function of ballistic calculation equipment significantly. For gun to form predicted hitting point accurately and enhance hitting rate, we need status information of target's future location. Target tracking filter algorithms consist of Single Singer Model, Fixed Gain filter algorithm, IMM, PBIMM and so on. This paper will design IMM tracking filter, which is going to be applied to domestic warship. Target tracking filter using CV model, Song model and CRT model for IMM tracking filter is made, and tracking ability is analyzed through Monte-Carlo simulation.

요 약

함포의 사격통제장치 성능은 크게 하드웨어(H/W)적인 오차와 소프트웨어(S/W)적인 오차로 구분할 수 있으며, 이중 S/W 오차에 해당하는 표적의 위치, 속도, 가속도 등을 추정하는 추적필터 오차는 탄도계산장치의 성능에 중요한 영향을 미친다. 함포의 정확한 예상탄착점 형성과 사격시 명중률 향상을 위하여 정확한 미래위치의 표적 상태정보가 필요하다. 표적 추적필터 알고리즘은 Single Singer Model, Fixed Gain 필터 알고리즘, IMM, PBIMM 등이 있다. 본 논문에서는 최근 국내 함정에 적용예정인 IMM 추적필터를 설계하였다. IMM 추적필터를 위해 CV모델, Song 모델, CTR모델을 사용하여 동역학 모델을 만들었으며, 추적성능을 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 해석해 보았다.

Key words : Fire Control System(사격통제장치), Interacting Multiple Model(다수모델필터) Mode Transition Probabilities(모델 천이 확률), Maneuvering Target Tracking(기동 표적 추적)

1. 서 론

함포의 사격제원계산장치가 포탄의 TOF(Time of flight)동안에 이동한 표적의 궤적을 예측하여 정확한 예상요격지점을 계산할 때, 표적 위치 예측의 정확성은 포의 명중률에 결정적 영향을 미친다. 특히 기동

하고 있는 표적을 명중시키기 위해서는 추적필터를 이용하여 표적의 위치, 속도, 가속도를 정확히 추정하여 예상요격지점을 산출해야 한다.

사격제원계산장치에서 기동표적의 추적을 위해 단일 필터가 사용되면 그 성능이 저하된다. 그동안 기동표적의 효율적 추적을 위해 많은 종류의 필터가 연구 되어 왔다. 그중에서도 상호작용 다중모델, 즉 IMM 알고리즘이 다양한 표적의 기동에 대해서 좋은 성능을 갖는 것으로 알려져 있다[1,2,3]. 최근에는 신

* 국방기술품질원(Defense Agency for Technology and Quality)

接受日:2007年 8月 16日, 修正完了日: 2007年 12月 27日

호처리프로세서 및 정보통신기술의 발달로 계산량을 극복하면서 다수모델필터가 많이 연구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 표적의 기동을 잘 추적 할 수 있는 IMM 기반의 추적필터를 설계해 보고 사격제원계산장치에 적용 가능성을 검토해 보았다.

따라서 제2장에서는 IMM알고리즘에 대해 알아보고, 제 3장에서는 표적의 동역학 모델을 세우는 과정을 살펴본다. 제 4장에서는 실험 및 결과고찰을 하고, 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 서술한다.

II. IMM 알고리즘

IMM은 위의 다수모델 필터 시스템에서 추정치 쇠신이 끝난 후에 모드가 바뀌는 것을 이용하여 N개의 필터가 추정치를 쇠신한 후에 모드의 변화에 따라 N개의 쇠신추정치들을 혼합하는 과정을 통해 N개 필터의 초기화를 각각 수행한 후에 예측과정과 쇠신과정을 반복하게 된다.

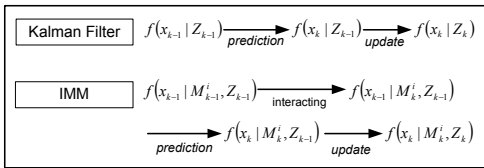


Fig. 1. Kalman filter and IMM algorithm
그림 1. 칼만 필터와 IMM 알고리즘

그림 1은 칼만 필터와 IMM 알고리즘을 도시한 것이다. M_k^i 는 i번째 필터라는 뜻이며 이는 i번째 가설과 같은 뜻이다. IMM 알고리즘의 가장 핵심이 되는 부분은 그림 1에서의 추정치 혼합 부분(Interacting)과 t_k (이산시간에서 k번째 시간)에서의 추정치를 이용한 추정치 쇠신후에 각각의 모드가 맞을 확률을 계산하는 모드 확률 쇠신(update) 부분이라고 할 수 있다.

IMM 알고리즘은 혼합과정(Interacting Step), 예측과정(Prediction Step), 쇠신과정(Update Step), 결합과정(Combination Step)순으로 진행된다[4,5,6].

1. 혼합과정

혼합과정에서는 \hat{x}_{k-1}^i 와 \hat{P}_{k-1}^i 그리고 모드 천이 확률(mode transition probability) π_{ij} 를 이용하여 필터간의 혼합을 통해 각각의 필터의 추정치를 수정한다. 즉 t_{k-1} 에서 N개의 확률밀도함수 $f(x_{k-1}|M_{k-1}^i, Z_{k-1})$ 가 새로운 가설 M_k^i 에 의해서 변화된 확률밀도함수 $f(x_{k-1}|M_k^i, Z_{k-1})$ 로 천이되는 과

정이다. 확률밀도함수 $f(x_{k-1}|M_k^i, Z_{k-1})$ 의 평균(\hat{x}_{k-1}^i)과 공분산(\tilde{P}_{k-1}^i)은 식(1),(2)을 만족한다.

$$\begin{aligned}\hat{x}_{k-1}^i &= \frac{\sum_{j=1}^N \hat{x}_{k-1}^j \pi_{ij} \Pr(M_{k-1}^j | Z_{k-1})}{\sum_{j=1}^N \pi_{ij} \Pr(M_{k-1}^j | Z_{k-1})} \\ &= \sum_{j=1}^N \hat{x}_{k-1}^j \mu_k^{ij} \\ \tilde{P}_{k-1}^i &= \sum_{j=1}^N (\hat{P}_{k-1}^j + \hat{x}_{k-1}^j (\hat{x}_{k-1}^j)^T) \mu_k^{ij} - \hat{x}_{k-1}^i (\hat{x}_{k-1}^i)^T\end{aligned}\quad (1)$$

여기서 μ_k^{ij} 와 π_{ij} 는 혼합가중치(mixing weight)와 모드 천이 확률행렬이다. μ_k^{ij} 와 π_{ij} 는 식(3),(4)와 같다.

$$\mu_k^{ij} = \frac{\pi_{ij} P(M_{k-1}^j | Z_{k-1})}{\sum_j \pi_{ij} P(M_{k-1}^j | Z_{k-1})}\quad (3)$$

$$\pi_{ij} = P(M_k^i | M_{k-1}^j, Z_{k-1})\quad (4)$$

2. 예측과정

그림 1의 예측 단계에서 $f(x_k|M_k^i, Z_{k-1})$ 의 평균과 공분산은 식(5),(6)와 같이 계산된다.

$$\bar{x}_k^i = \Phi(M_k^i) \tilde{x}_{k-1}^i\quad (5)$$

$$\bar{P}_k^i = \Phi(M_k^i) \tilde{P}_{k-1}^i \Phi^T(M_k^i) + B(M_k^i) Q_{k-1} B^T(M_k^i)\quad (6)$$

예측 추정치 \bar{x}_k^i , \bar{P}_k^i 은 \tilde{x}_{k-1}^i , \tilde{P}_{k-1}^i 로부터 구해지며, Q_{k-1} 은 공정잡음의 공분산이다.

3. 쇠신과정

추정치 쇠신과정에서는 k수간에서의 추정치 z_k 와 이미 얻어진 \bar{x}_k^i , \bar{P}_k^i 로부터 칼만이득(kalman gain) K_k^i 를 구하여 각 모드의 쇠신된 추정치 \hat{x}_k^i , \hat{P}_k^i 를 얻게 된다.

쇠신 단계에서 $f(x_k|M_k^i, Z_k)$ 의 평균(\hat{x}_k^i)과 공분산(\hat{P}_k^i) 및 모드 확률 쇠신 값, 즉 가설 M_k^i 가 맞을 확

를 $\Pr(M_k^i)$ 은 식(7),(8),(9),(10)와 같이 요약된다.

$$\hat{x}_k^i = \bar{x}_k^i + K_k^i(z_k - H(M_k^i)\bar{x}_k^i) \quad (7)$$

$$\hat{P}_k^i = (I - K_k^i H(M_k^i))\bar{P}_k^i (I - K_k^i H(M_k^i))^T + K_k^i R_k K_k^{i^T} \quad (8)$$

$$K_k^i = \bar{P}_k^i H^T(M_k^i) (H(M_k^i)\bar{P}_k^i H^T(M_k^i) + R_k)^{-1} \quad (9)$$

$$\Pr(M_k^i) = \frac{f(z_k | M_k^i, Z_{k-1}) \sum_{j=1}^N \pi_{ij} \Pr(M_{k-1}^j | Z_{k-1})}{\sum_{l=1}^N \left[f(z_k | M_k^l, Z_{k-1}) \sum_{m=1}^N \pi_{lm} \Pr(M_{k-1}^m | Z_{k-1}) \right]} \quad (10)$$

$$f(z_k : M_k^i, Z_{k-1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi^m} |S_k^i|^{\frac{1}{2}}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}(z_k - H(M_k^i)\bar{x}_k^i)^T (S_k^i)^{-1} (z_k - H(M_k^i)\bar{x}_k^i)\right] \quad (11)$$

R_k 는 측정잡음의 공분산을 나타낸다. 여기서 R_k 는 측정치가 r, θ, ϕ 로 들어오기 때문에 x,y,z축에 대한 분산으로 변환해 주는 과정이 필요하게 된다.

위 식에서 z_k 는 의사측정치(pseudo measurements)로서 거리, 방위각, 고각으로 받은 표적 위치 정보를 x,y,z축의 직교좌표계로 변환한 값이다.

4. 결합과정

각 필터에서 얻어진 쇠신된 추정치 \hat{x}_k^i, \hat{P}_k^i 로부터 궁극적으로 원하는 k순간에서의 상태변수 추정치와 공분산을 구하기 위해 결합과정을 거친다. \hat{x}_k, \hat{P}_k 를 식(12),(13)와같이 구할수 있다.

$$\hat{x}_k = \sum_{i=1}^N \hat{x}_k^i \Pr(M_k^i | Z_k) \quad (12)$$

$$\hat{P}_k = \sum_{i=1}^N [\hat{P}_k^i + (\hat{x}_k^i - \hat{x}_k)(\hat{x}_k^i - \hat{x}_k)^T] \Pr(M_k^i | Z_k) \quad (13)$$

III. 표적의 기동 모델링

정밀한 표적 추적을 위해서는 표적에 대한 정확한 동역학 모델을 필요로 하며 추적필터의 성능은 모델링의 정확성에 대해 민감한 특성을 보인다.

본 논문에서는 표적의 운동을 3개의 기동모델로 구

성하였다. 이 장에서는 표적의 3가지 동역학 모델을 설계하였으며 그 내용을 다음에 기술하였다.

1. CV(Constant Velocity)모델

CV 모델은 등속도 모델로서 시간의 경과에 따라서 속도가 일정하게 표현되는 모델이다.

상태변수 x 는 직교좌표계 각 축의 위치, 속도로 구성된다.

$$x = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$$

이산화된 상태방정식은 식(14)와 같다.

$$x_k = \Phi_{CV} x_{k-1} + B_{CV} w_{k-1} \quad (14)$$

상태전이행렬 Φ_{CV} 와 B_{CV} 는 샘플링 주기 T 와 3×3 단위행렬 I 와 영행렬 O 로 표현된다.

$$\Phi_{CV} = \begin{bmatrix} I & tI \\ O & I \end{bmatrix}, B_{CV} = \begin{bmatrix} T^2/2I \\ TI \end{bmatrix}$$

$w_{k-1} = [w_x, w_y, w_z]^T$ 는 백색잡음벡터이고 각 축의 가속도에 대한 모델링 오차를 나타내는 공정잡음으로서 각 축의 백색잡음은 상관관계가 없으며 평균이 0, 공분산은 다음의 $Q_{CV}(k-1)$ 이다.

$$\text{cov}(B_{CV} w_{k-1}) = Q_{cv}(k-1) = \sigma_{cv}^2 \begin{bmatrix} \frac{T^4}{4} I & \frac{T^3}{4} I \\ \frac{T^3}{4} I & T^2 I \end{bmatrix} \quad (15)$$

2. Song 모델

Berg 모델은 목표물이 좌표 회전(coordinate turn), 혹은 선회 기동 한다는 가정 아래 가속도의 미분치인 jerk항을 속도와 가속도의 함수로 모델링 하여 Singer 모델에 포함시켰다. Berg 모델의 변형된 형태의 본 모델은 Singer model 과 Berg model을 개선하기 위하여 Berg model의 1차 마코프 프로세서 가속도 모델에 가속도의 추정치를 추가하여 모델링하였다.

표적의 가속도 성분이 deterministic acceleration 과 time-correlated acceleration random process로 구성되며 Berg 모델에 \hat{A}/τ (\hat{A} : the latest estimate of acceleration)항이 추가된 것이다.

상태변수 x 는 직교좌표계 각 축의 위치, 속도, 가속도로 구성되며 이산화된 상태방정식은 식(16)과 같다.

$$x = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$$

$$x_k = \Phi_s x_{k-1} + \Gamma_s u_{k-1} + \Lambda_s u_{k-1} + w_{k-1} \quad (16)$$

u_{k-1} 은 가속도 추정치이며, u_{k-1} 항은 Berg 모델에서 제안된 jerk 항이다. 상태전이행렬 Φ_s 와 Γ_s , Λ_s 는 3×3 단위행렬 I 와 영행렬 O 을 이용하여 아래와 같이 정의된다.

$$\Phi_s = \begin{bmatrix} I & T I & T^2(-1+T/\tau+\exp(-T/\tau))I \\ O & I & \tau(1-\exp(-T/\tau))I \\ O & O & -\exp(-T/\tau)I \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_s = \begin{bmatrix} T^2/2 - \tau^2(-1+T/\tau+\exp(-T/\tau))I \\ T - \tau^2(1-\exp(-T/\tau))I \\ 1 - \exp(-T/\tau)I \end{bmatrix}, \Lambda_s = \begin{bmatrix} T^3/6I \\ T^2/2I \\ T I \end{bmatrix}$$

칼만 필터에서는 공정잡음 w_{k-1} 의 공분산 행렬을 사용한다. 공정잡음의 power spectral density는 $q_s = 2\tau\sigma_s^2$ 이며, 공분산 행렬 $Q_s(k-1)$ 은 식(17)와 같다.

$$Q_s(k-1) = 2\tau\sigma_s^2 \begin{bmatrix} q_{11}I & q_{12}I & q_{13}I \\ q_{21}I & q_{22}I & q_{23}I \\ q_{31}I & q_{32}I & q_{33}I \end{bmatrix} \quad (17)$$

3. CTR(Constant Turn-Rate) 모델

CTR모델은 대공 표적의 좌표 회전 기동의 궤적 형태를 등속 원운동으로 간주하여 기동 모델을 정의한다. CTR 모델은 전형적인 constant turn-rate으로 표적이 기동할 때 궤적으로부터 kinematics 개념에서 표적의 기동모델을 유도하여 3차원 공간상에서의 어느 고정된 \vec{P}_0 를 중심으로 constant turn-rate로 기동하는 모델의 가속도를 2차 마코프 프로세스의 형태로 모델링하였다.

상태변수 x 의 구성과 이산화된 상태방정식은 식(18)과 같다.

$$x = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$$

$$x_k = \Phi_{CT} x_{k-1} + B_{CT} w_{k-1} \quad (18)$$

상태전이행렬 Φ_{CT} 와 B_{CT} 는 3×3 단위행렬 I

와 영행렬 O 을 이용하여 식(19),(20)와 같이 정의된다.

$$\Phi_{CT} = \begin{bmatrix} I & \frac{\sin wT}{w}I & \frac{1-\cos wT}{w^2}I \\ O & \cos wT I & \frac{\sin wT}{w}I \\ O & -w \sin wT I & \cos wT I \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$B_{CT} = \begin{bmatrix} (wT - \sin wT/w^3)I \\ (1 - \cos wT/w^2)I \\ (\sin wT/w)I \end{bmatrix} \quad (20)$$

공정잡음 w_{k-1} 의 power spectral density는 σ_{CT}^2 이며 공분산 행렬 $Q_{CT}(k-1)$ 은 식(21)과 같다.

$$Q_{CT}(k-1) = \sigma_{CT}^2 \begin{bmatrix} q_{11}I & q_{12}I & q_{13}I \\ q_{21}I & q_{22}I & q_{23}I \\ q_{31}I & q_{32}I & q_{33}I \end{bmatrix} \quad (21)$$

공분산 행렬 $Q_{CT}(k-1)$ 에서 샘플링 주기 T 와 표적의 좌표 회전 각속도 ω , 추정된 가속도와 속도의 크기를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\omega = \|a\| / \|v\|, \|a\| = \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + \hat{z}^2}$$

$$\|v\| = \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + \hat{z}^2} \quad (24)$$

CTR은 원운동에 초점을 맞춘 모델이므로, 표적이 원에 가까운 비행을 한다고 가정했을 때, σ 의 값은 0.1~1.0의 값 범위에서 적절히 선택하여야 한다.

IV. 실험 및 결과 고찰

설계된 표적의 기동모델 3가지를 적용하여 IMM 추적필터를 구현하였고, 구현된 IMM 추적필터에 대한 성능검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 1절에는 시뮬레이션 조건을 기술하고, 2절과 3절은 대공, 대함 표적에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하였다. 지금까지 설계한 IMM 추적필터의 성능을 검증해보기 위해 기존 합정 사격제원계산기에 사용된 단수모델의 대표라 할수 있는 Singer모델 추적필터와 비교실험하였다.

1. 시뮬레이션 조건

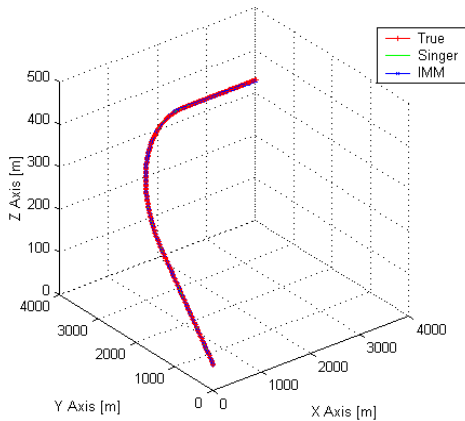
본 시뮬레이션에 적용된 대공표적 시뮬레이션 조건을 다음과 같다.

추적센서로부터 들어오는 데이터의 분산은 거리 5m. 방위 0.7mrad, 고각 0.7mrad이며, 대함표적의 측정치 분산은 5m. 방위 0.7mrad, 고각 0.0mrad으로 설정하였다. 대공표적에 대해 CV는 시그마 0.1, 변형된 Berg모델은 시그마 10, 타우 2, CTR모델은 시그마 0.5를 설정하였다.

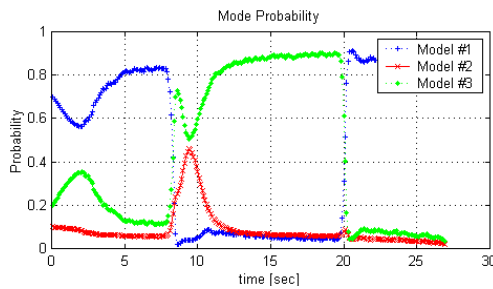
또한 대공표적에 대해 CV는 시그마 0.05, 변형된 Berg모델은 시그마 2, 타우 1, CTR모델은 시그마 0.1를 설정하였다.

몬테카를로 시뮬레이션을 100번 실시하여 표적의 위치정보가 노이즈에 왜곡되었을 경우에 대한 추정성능을 알아보았다.

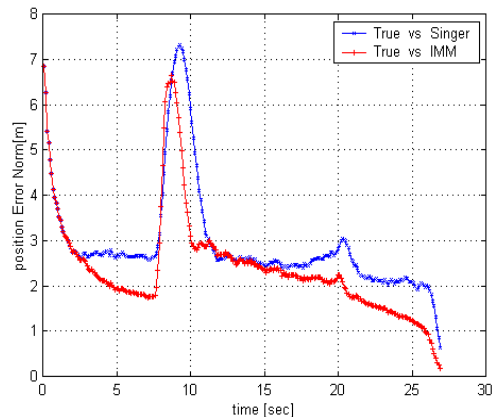
2. 대공 Dogleg 기동 표적



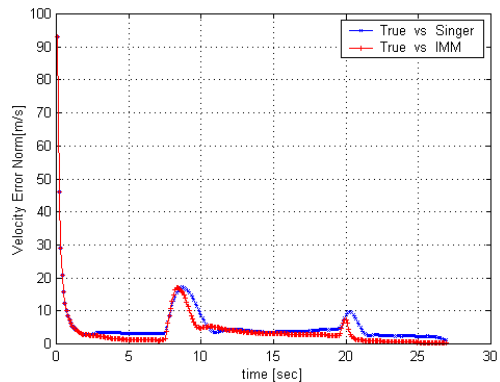
(a) True target and Singer-IMM filter target
(a) 실제 표적과 Singer-IMM 필터 표적



(b) Mode Probability graph
(b) 모드 확률 그래프



(d) Position error of x, y, z axis
(d) x, y, z축의 위치 에러



(d) Velocity error of x, y, z axis
(d) x, y, z축의 속도 에러

Fig. 2. Simulation result of anti-air Dogleg maneuvering target
그림 2. 대공 도그레그 운동 표적 시뮬레이션 결과

Dogleg motion을 취하면서 자함을 향해 다가오는 대공 표적에 대한 시나리오 및 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같다.

표적은 초기 위치가 (3250, 3000, 420)[m], 초기 속도는 200[m/sec]인 비행체이며, 자함은 정지 상태이다. Dogleg motion은 표적이 직선운동을 하다가 기동하여 방향전환을 한 뒤 다시 직선운동으로 돌아오는 형태를 일반적으로 의미한다. 그림2의 (a)를 보면 실제 표적정보와 Singer모델과 IMM 필터가 추적하는 표적의 궤적을 나타내었다. 두 필터 모두 노이즈를 극복하면서 실제 표적을 잘 따라감을 보이고 있다.

그림2의 (b)는 위치 오차를 나타내는데, 표적이 급격히 기동을 시작하는 부분에서 Singer모델 추적필터가 IMM 추적필터보다 오차가 커지고, 다시 수렴하는 시간도 오래 걸리는 것으로 나타났다. 표1에 정량적인 위치오차를 분석해 놓았다. IMM이 Singer모델 추

적필터 보다 약 18% 더 잘 추적하는 것을 알 수 있다.

Table 1. Quantitative error analysis for anti-air Dogleg maneuvering target

표 1. 대공 Dogleg 기동 표적에 대한 정량적 오차 분석

구분	Position X(m)	Position Y(m)	Position Z(m)	Norm aver(m)
단수 모델	1.2454	2.3909	0.9722	2.9420
다수 모델	1.5058	1.5300	1.4742	2.4235

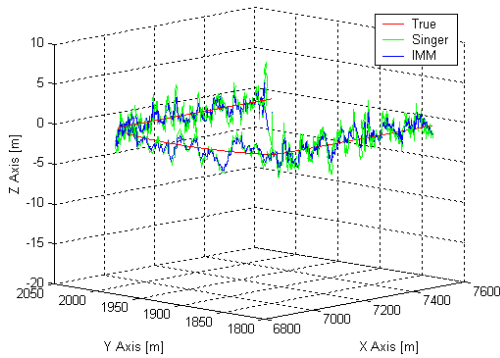
그림2의 (c)는 표적이 시뮬레이션을 시작하여 기동을 취하기 전까지는 직선운동을 하기 때문에 모드 1(CV 모델)의 확률값이 제일 높으며, 기동을 시작하면 기동모델인 모드2(변형된 Berg 모델)와 모드

3(CTR 모델)의 값이 높아지기 시작하여 다시 직선운동 구간에서는 모드1의 모델이 높은 확률 값을 가지고 필터에 적용되는 것을 볼 수 있다. 이는 우리가 의도한 필터의 기동에 따른 다양한 모델이 실제 기동과 일치하는 확률 값을 가지고 IMM 추적필터에 적용된다는 것을 보여준다. 초기 필터의 추정치는 약간의 큰 에러를 가지고 시작함을 알 수 있는데, 이것은 IMM 추적필터의 초기화 과정이 실제 표적의 기동과 약간 다르기 때문으로 해석할 수 있다. 위치, 속도, 가속도의 추적성능은 표적의 기동변화가 생기는 부분을 제외하고는 안정적임을 알 수 있다.

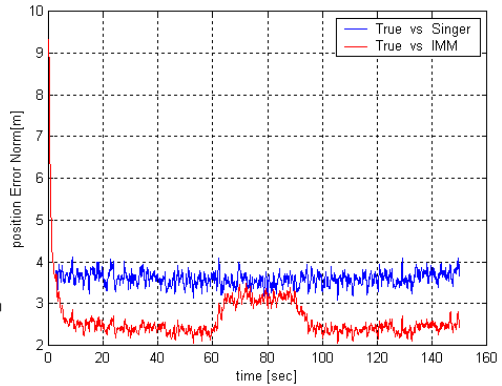
3. 대함 기동 표적

등속운동을 후 U자 형태로 기동하여 자함으로 접근하는 대함표적에 대한 시나리오 및 결과는 그림 3과 같다.

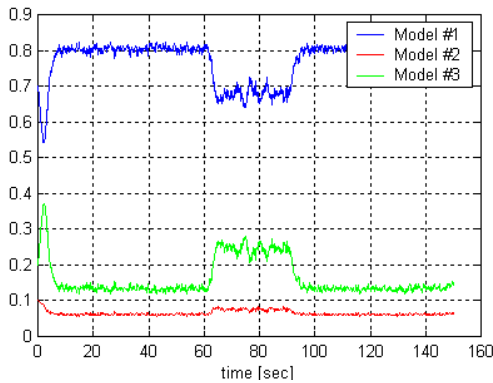
표적은 초기 위치가 (7499, 2000, 0)[m], 초기 속도



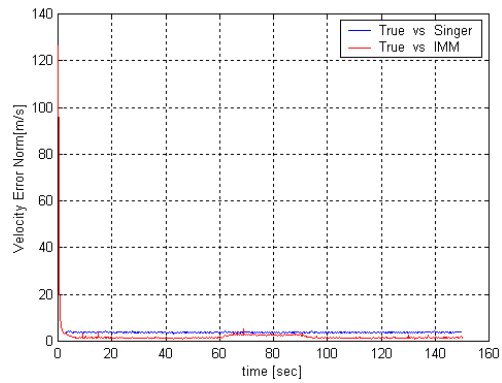
(a) True target and IMM filter target
(a) 실제 표적과 IMM 필터 표적



(d) Position error of x, y, z axis
(d) x, y, z축의 위치 에러



(b) Mode Probability graph
(b) 모드 확률 그래프



(d) Velocity error of x, y, z axis
(d) x, y, z축의 속도 에러

Fig. 3. Simulation result of anti-surface maneuvering target
그림 3. 대함 기동 표적 시뮬레이션 결과

는 10[m/sec]인 함정이다. 그림3의 (a)를 보면 실제 표적정보와 Singer모델과 IMM 필터가 추적하는 표적의 궤적을 나타내었다. 노이즈를 극복하면서 실제 표적을 잘 따라감을 보이고 있다.

그림3의 (b)는 위치 오차를 나타내는데, 전 구간에서 IMM 추적필터가 Singer모델 추적필터보다 더 잘 추적하는 것을 알수 있다. 표2에 정량적인 위치오차를 분석해 놓았다. IMM이 Singer모델 추적필터 보다 약 28% 더 잘 추적하는 것을 알수 있다.

Table 2. Quantitative error analysis for anti-surface maneuvering target

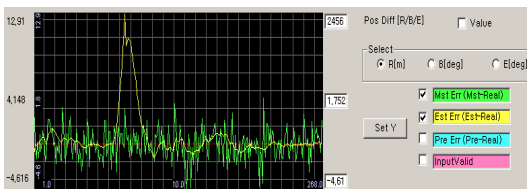
표 2. 대함 U기동 표적에 대한 정량적 오차 분석

구분	Position X(m)	Position Y(m)	Position Z(m)	Norm aver(m)
단수 모델	2.0558	2.0995	2.1037	3.620
다수 모델	1.5058	1.5300	1.4742	2.613

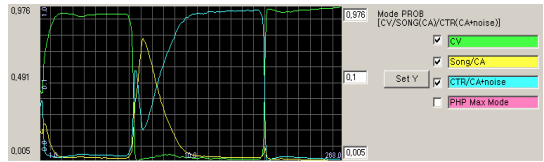
그림3의 (c)는 Mode probability를 나타내는데, 대함 표적의 기동이 급격히 일어나지 않기 때문에 기동이 발생하는 부분에서 Model #2보다는 Model#3의 확률이 증가한다. 다시 직선운동구간에서는 Model#1이 높아진다.

3. 사격제원계산장치에서 데이터 로깅 분석

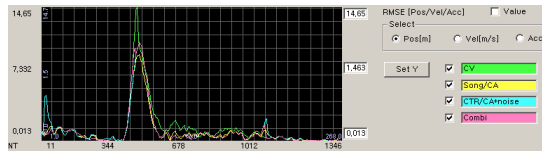
사격제원계산장치에서 산출하는 사격제원 함포명령은 실제 사격에 적용되기 앞서, 가상의 다양한 시나리오 환경에서 데이터 로깅을 통해 분석하고 검증하는 단계를 거쳐야 한다. 이는 통합과정과 복합 시뮬레이션 상황에서 발생할 수 있는 오류를 내포하고 있기 때문이다. 다음은 Dogleg 기동표적의 데이터로깅 분석결과이다.



(a) Dogleg운동 표적의 Measurement와 Estimation Error



(b) Dogleg운동 표적의 Mode 확률 값



(c) Dogleg운동 표적의 Position Error 값

Fig. 5. Data Logging analysis on BCU for Dogleg Maneuvering Target

그림 5. Dogleg 운동 표적에 대해 BCU에서 데이터 로깅 분석

그림 5의 (a)는 측정오차와 추정오차를 나타내고 있다. 추정오차가 급격한 기동이 발생하는 부분을 제외하고는 전구간에서 더 안정하다.

그림 5의 (b)는 모드확률을 나타내는데, Dogleg 운동 표적의 급격한 기동이 발생하는 시점에는 Song 모델이 가장 높은 확률을 가지다가 계속적으로 기동이 이루어 질때는 CTR모델이 가장 높은 확률값을 갖고 다시 직선운동을 시작하면 CV모델이 가장 도미넌트 하다는 것을 알수 있다.

그림 5의 (c)는 Dogleg 운동 표적의 급격한 기동이 발생하는 시점에서 위치 RMSE 값이 크다는 것을 알수 있다. 이런 실험을 통해 알수 있듯이 최적화의 과정만 거친다면 IMM은 사격제원계산장치 추적필터로서 좋은 성능을 발휘할수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 다수모델필터의 필요성을 설명하고, 사격제원계산장치에 적용하기 위해 다수모델필터의 하나인 IMM 추적필터를 설계 및 검증하였다.

IMM 추적필터를 위한 기동표적의 동역학 모델을 CV, Song, CTR로 나누어 모델링하였다. 필터의 추적 성능을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 통계적으로 검증한 결과 단수모델의 Singer 추적필터 보다 비교적 우수한 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 IMM 추적필터는 단수모델 추적필터보다 대공표적 18%, 대함표적 28% 더 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. IMM 알고리즘은 적절한 모델과 필터 파라미터를 설정할 수 있다면 충분히 낮은 오차 범위 내에서 표적의 상태변수를 추정할 수 있다. 따라서

최적화의 과정만 거친다면 IMM은 사격제원계산장치 추적필터로서 좋은 성능을 가질 수 있을 것이다.

향후 같은 모델일 경우에도 표적의 기동패턴에 따라 최적의 파라미터 값이 바뀌기 때문에 전반적으로 적절한 레벨의 오차값을 유지할 수 있는 필터 파라미터 값을 찾아야 할 것이다.

참고문헌

- [1] X.Rong Li and Vesselin P. Jilkov "A Survey of Maneuvering Target Tracking: Dynamic models" In proceedings of SPIE conference on Signal and Data Processing, April 2000.
- [2] Robert. A. Singer "Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Target" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. AES-6, No. 4, July 1970
- [3] Brendan T. Rhatigan, Paul R. Kalata, Thomas A. Chmielewski "An α - β Target Tracking Approach to the Benchmark Tracking Problem", Proceedings of the American Control Conference, June 1994, pp 2076-2080
- [4] X Rong Li, "Design of an Interacting Multiple Model Algorithm for Air Traffic Control Tracking", IEEE Transaction on Control System Technology, vol. 1, no. 3, 1993, pp.186-194.
- [5] Y. Bar-Shalom, K. C. Chang, and H. A. P. Blom, "Tracking a manoeuvring target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-25, 1989, pp.296-300.
- [6] Blom, H.A.P. and Bar-Shalom, Y., "The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients, "IEEE Trans. Automat. Contr. Vol 33, pp 780-783, Aug1988.

저 자 소 개

김 승 우 (정회원)



2001년 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 : 부산대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2003년 4월~현재 : 국방기술품질원

2008~현재 : 부산대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야> 레이더용 추적필터, 디지털 오디오 신호처리