

IMM3를 이용한 사격제원계산장치 대함필터 연구

The Research of Naval Tracking Filter using IMM3
for Naval Gun Ballistic Computer Unit

이 영 주*

Lee, Young-Ju

ABSTRACT

This paper describes the tracking filter performance for Naval Gun Ballistic Computation Unit(BCU). BCU needs tracing filter for gun firing. Using data of tracking sensor, BCU calculates the future position of Target and Gun order in the time of flight. In this paper, tracing filter is designed with interacting multiple model(IMM). The tracking algorithm based on the IMM requires a considerable number of sub-model for the various maneuvering target in order to have a good performance. But, in the case of ship target, the maneuvering is restricted compared with the air target. Considering the maneuvering properties and adjusting the mode transition probabilities and the process noise of sub-model, We designed the IMM3 algorithm for Naval tracking filter with three sub-model.

주요기술용어(주제어) : Gun fire control(합포사격통제), Target tracking(표적추적), Target prediction(표적예측), Naval Tracking filter(대함추적필터), BCU(사격제원계산장치)

1. 서론

추적필터는 레이더뿐만 아니라 합포사격통제용으로
도 사용되며, 레이더의 추적필터와 틀린 점은 탄의
비행시간 이후의 표적의 위치예측에 초점이 맞추어져
있다는 것이다

기존에는 $\alpha-\beta-\gamma$ 알고리즘을 이용한 합포용 사
격통제용 추적필터알고리즘(WM-28)이 개발되었다.
WSA-423에서는 단순 칼만필터를 이용하였다.

최적 필터 이론에 기초한 칼만 필터는 표적 추적에

널리 사용되어 왔다. 그러나 기동 표적 추적에 있어
서 단일 필터가 사용되면 그 성능이 저하된다. 이러
한 이유로 많은 종류의 칼만 필터 알고리즘이 연구되
어 왔다. 그 중에서도 상호작용 다중 모델(Interacting
Multiple Model : IMM)알고리즘은 다양한 표적의
기동에 대해서 좋은 성능을 가지는 것으로 알려져 있
다.^[1~5]

IMM 알고리즘에 있어서, 표적의 기동이 부 모델
의 출력과 유사하면 추적 오차는 작고, 그렇지 않으면
크다. 그러므로 IMM알고리즘이 다양한 기동표적
에 대해 좋은 성능을 갖기 위해서는 많은 수의 부 모
델을 필요로 한다. 추정된 값에 수렴시간까지 고려해
야 하기 때문에 빠른 수렴을 요하는 사통시스템에는
적합하지 않다. 따라서 다양한 기동에 대해서 좋은

† 2005년 7월 7일 접수~2005년 9월 9일 게재승인

* 국방과학연구소 2체계본부(ADD)

주저자 이메일 : doodug@hanmail.net

성능뿐만 아니라 적은 연산량을 갖는 알고리즘이 필요하다.

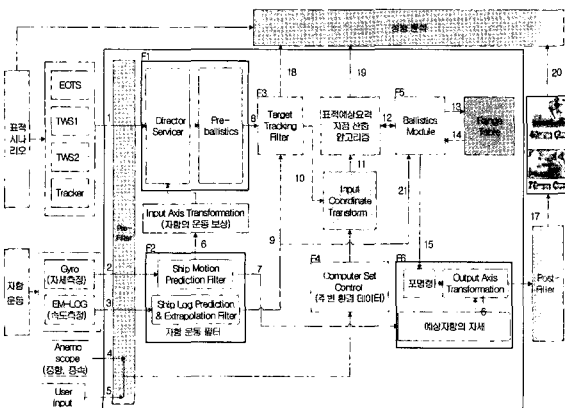
IMM알고리즘의 성능은 부 모델수를 줄이는 방법과 모델 천이 확률을 적절히 주는 방법이 필요하다. 대함표적의 경우는 대공표적에 비해 기동의 특성이 시간에 대해서 급하거나 다양하지 않으므로 부 모델의 수를 3가지로 줄였다. 모델 천이확률은 기동의 특성을 고려하여 가장 적합한 행렬을 찾을 수 있었다. 부 모델의 공정잡음 역시 설계된 필터가 최적이 되는데 고려요소로 작용한다.

2장에서는 사격제원계산장치에서 대함사통용 추적 필터용도와 개념에 대해서 알아보았다. 3장에 대함사통용 추적 필터를 설계했으며 4장은 시뮬레이션을 결과 소개했으며, 결론은 5장에 요약된다.

2. 사격제원계산용 추적필터

함정용 사격제원계산장치는 추적센서로부터 받은 측정데이터를 이용해서 탄의 비행시간 이후의 표적의 미래위치를 구하고, 표적에 대한 예상요격지점에 대한 포명령(방위, 고각) 산출한다.

여기서 대공, 대함에 대해서 측정데이터를 받고 이것을 사격통제용 데이터로 사용하기 위해서는 추적 필터를 통해 위치, 속도, 가속도에 대한 추정치를 구해야 한다. 이 추정치가 예측모델의 입력값으로 사용된다.



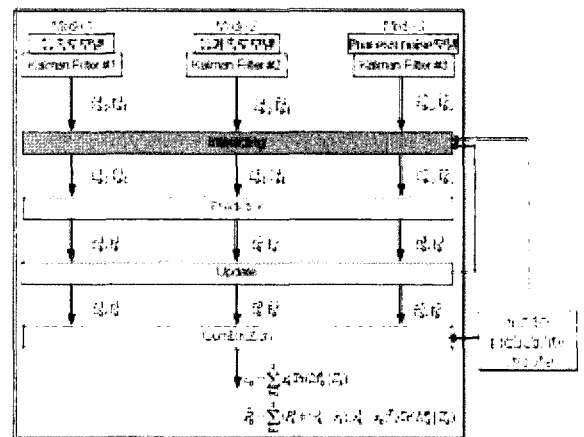
[그림 1] 사격제원계산장치구성

물론 추적센서에서 표적을 추적하기 위해서 표적에 대한 추적값 즉, 추정치를 만들어 내지만 이 추정치는 표적의 다음시점을 예측하기 위한 추정치이다. 이것은 추적센서의 구동을 위한 추정값으로서 함포의 사격제원계산용으로는 부적합하다. 사격제원계산장치는 표적의 다음위치가 아니라 비과시간 이후의 표적의 위치예측을 위해서 만드는 추정치이다.

그러므로, 사격제원계산장치에서 쓰이는 추적 필터는 현재시점에서의 표적의 상태에 대한 정확한 추적 보다는 표적의 궤적에 대해서 smoothing된 추정치가 필요하다. 본 보고서에서는 IMM필터를 이용해서 대함표적(다양한 기동패턴에 따른)에 대한 추적성능을 알아본다. 배의 자세는 고려하지 않고 단지 해수면에 수평방향으로의 운동만 고려하였다.

3. 사격제원계산용 대함추적필터 설계

기동모델은 등속도모델, 등가속도모델, Process noise모델로 3가지 기동모델을 이용하였고 전체적인 흐름도는 다음과 같다.



[그림 2] 대함사통용 추적필터 흐름도

상태벡터는 다음과 같이 정의된다.

(위치, 속도, 가속도)

$$X(t) = [x(t) \ y(t) \ \dot{x}(t) \ \dot{y}(t) \ \ddot{x}(t) \ \ddot{y}(t)]^T \quad (1)$$

등속도모델에 대한 프로세스 방정식은 다음과 같이 정의 된다.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) \quad (2)$$

등가속도모델에 대한 프로세스 방정식은 다음과 같이 정의 된다.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 & T^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T & 0 & T^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(k) \quad (3)$$

Process noise 모델에 대한 프로세스 방정식 다음과 같이 정의 된다.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 & T^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T & 0 & T^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} T^2/4 & 0 \\ 0 & T^2/4 \\ T/2 & 0 \\ 0 & T/2 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} v(k) \quad (4)$$

T는 샘플링 주기이다.
추정방정식은 다음과 같다.

$$z(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) + w(k) \quad (5)$$

상태(state) x의 추정치의 초기치는 다음과 같다.

$$\hat{x}(0) = \begin{bmatrix} z_x(0) \\ z_y(0) \\ (z_x(1) - z_x(0)) / T \\ (z_y(1) - z_y(0)) / T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 추정치 Z(x축 성분, y축 성분)는 노이즈가 추가된 값이다.

각 모델에 대한 초기 추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_1(0) &= \hat{x}(0) \\ \tilde{x}_2(0) &= \hat{x}(0) \\ \tilde{x}_3(0) &= \hat{x}(0) \end{aligned} \quad (7)$$

각 모델에 대한 초기 오차공분산은 다음과 같다.

$$P(0) = \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & \sigma_x/T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y & 0 & \sigma_y/T & 0 & 0 \\ \sigma_x/T & 0 & 2\sigma_x/T^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y/T & 0 & 2\sigma_y/T^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

각 축으로의 분산값은 예측추정치로부터 구한 각축의 예측값을 좌표계로 변환해서 거리, 고각, 방위각을 사용한 것이 아니라, 추정치를 좌표계로 바꾼 다음 예측치로부터 구한 추정치에 대한 거리, 방위, 고각값을 사용하였다.

초기 거리예측치, 방위예측치, 고각예측치는 다음과 같다.

$$\bar{R} = \{z_x(0)^2 + z_y(0)^2 + z_y(0)^2\}^{1/2} \quad (9)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{z_y(0)}{z_x(0)} \right) \quad (10)$$

$$\bar{\psi} = \tan^{-1} \left(\frac{z_x(0)}{\sqrt{z_x(0)^2 + z_y(0)^2}} \right) \quad (11)$$

위의 예측치로부터 각축방향의 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_x = \{ \sigma_r^2 \cos^2(\bar{\theta}) \cos^2(\bar{\psi}) + \bar{R}^2 \sigma^2 (\cos^2(\bar{\psi}) \sin^2(\bar{\theta}) + \sin^2(\bar{\psi}) \cos^2(\bar{\theta})) \}^{1/2} \quad (12)$$

$$\sigma_y = \{ \sigma_r^2 \sin^2(\bar{\theta}) \cos^2(\bar{\psi}) + \bar{R}^2 \sigma^2 (\cos^2(\bar{\psi}) \cos^2(\bar{\theta}) + \sin^2(\bar{\psi}) \cos^2(\bar{\theta})) \}^{1/2} \quad (13)$$

고각과 방위각에 대한 분산은 같다고 가정한다. 왜냐하면 추적센서의 분산이 동일하기 때문이다.

$$\sigma = \sigma_\theta = \sigma_\psi \quad (14)$$

Markov 사슬(Chain)과 관련된 모델 천이확률은 다음과 같다.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow 1 & 1 \rightarrow 2 & 1 \rightarrow 3 \\ 2 \rightarrow 1 & 2 \rightarrow 2 & 2 \rightarrow 3 \\ 3 \rightarrow 1 & 3 \rightarrow 2 & 3 \rightarrow 3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

모델 천이확률을 아래와 같이 두었다.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0.05 \\ 0.33 & 0.33 & 0.34 \end{bmatrix} \quad (16)$$

공정잡음 Q역시 변화시켜가면서 P와의 상관관계를 보면서 최적의 값을 찾아낼 수 있었다.

singer model^[7]에서는 공정잡음 Q가 다음과 같이 정해진다.

$$q = 2\tau\sigma^2 \quad (17)$$

보통 공정잡음의 분산은 다음과 같이 구해진다.^[9]

$$0.5a_M \leq \sigma_v \leq a_M$$

a_M : 최대가속도 크기

σ_v : 공정잡음의 표준변차

초기모드확률은 다음과 같다.

$$\mu(0/0) = [0.34 \ 0.33 \ 0.33]^T \quad (18)$$

합병(merging) 확률은 다음과 같이 정의 된다.

$$\mu_{ij}(k-1/k) = \frac{1}{c_j} p_{ij} \mu_j(k-1) \quad (19)$$

여기서, c_j 는 j번째 부 모델의 정규화 상수이다.

$$c_j = \sum_{i=1}^3 p_{ij} \mu_i(k-1) \quad (20)$$

각 모델에 대한 초기 혼합(mixed)상태와 공분산은 다음과 같다.

$$\tilde{x}^j(k/k) = \sum_{i=1}^3 \hat{x}^i(k/k) \mu_{ij}(k-1/k) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (21)$$

$$\tilde{p}^j(k/k) = \sum_{i=1}^3 \mu_{ij}(k-1/k) \{ p^i(k/k) + [\hat{x}^i(k/k) - \tilde{x}^i(k/k)] [\hat{x}^i(k/k) - \tilde{x}^i(k/k)]^T \} \quad (22)$$

각 모델에 대한 fitler Gain은 다음과 같다.

$$K_k^j = \tilde{P}_k^j H^T (M_k^j) (H(M_k^j) \tilde{P}_k^j H^T (M_k^j) + R_k(M_k^j))^{-1} \quad (23)$$

$$\tilde{x}_k^j = \Phi(M_k^j) \tilde{x}_{k-1}^j \quad (24)$$

$R_k(M_k^j)$ 은 다음과 같이 구한다.

식 (24)에서 구해진 각 모델에 대한 예측치에서 앞에서 설명한 측정치변환 알고리즘(식 9, 10, 11)을 사용해서 체계좌표계에 대한 측정오차를 만들어 주어야 한다.

$$R_k^{LL} = (C_{LL}^L)^T R_k^c C_{LL}^L \quad (25)$$

최종적인 결합(combination)상태와 공분산은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{x}(k/k) = \sum_{j=1}^3 \hat{x}^j(k/k) \mu_j(k), \quad (j = 1, 2, 3) \quad (26)$$

$$\hat{p}(k/k) = \sum_{j=1}^3 \mu_j(k) \{ p^j(k/k) + [\hat{x}^j(k/k) - \hat{x}(k/k)] [\hat{x}^j(k/k) - \hat{x}(k/k)]^T \} \quad (27)$$

예측모델(PHP)는 어떻게 설계하는냐에 따라 사격제원계산장치의 성능을 가장크게 좌우하는 요인이 된다. 여기서는 두가지 예측모델에 대해서 이야기하고자 한다. 첫 번째로 최종추정치를 이용해서 이차형태로 예측하는 방법은 다음과 같다.

$$\bar{P}_{predicted} = \bar{P}_{estimated}(t) + \bar{v}_{estimated}(t) \cdot t + \bar{a}_{estimated}(t) \cdot \frac{t^2}{2} + \bar{j}_{estimated} \cdot \frac{t^3}{6} \quad (28)$$

필터에서 나온 출력은 위치, 속도, 가속도 이므로 대함의 경우에는 jerk항은 생략되어도 된다. 식 (28)은 다음과 같이 된다.

$$\bar{P}_{predicted} = \bar{P}_{estimated}(t) + \bar{v}_{estimated}(t) \cdot t + \bar{a}_{estimated}(t) \cdot \frac{t^2}{2} \quad (29)$$

둘째로, Mode확률을 이용한 예측모델은 다음과 같다. IMM3 추적필터 알고리즘에서 계산된 현재 표적에 대한 각 모드 확률과 각 모드에 대해서 t초 후의 Model 표적의 미래 위치는 다음과 같다.

$$X^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot X_0, \Pr(M_k^1 / Z_k), X^1 \quad (30)$$

t초 후의 Mode2 표적의 미래 위치는 다음과 같다.

$$X^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t & 0 & t^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & t & 0 & t^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot X_0, \Pr(M_k^2 / Z_k), X^2 \quad (31)$$

t초 후의 Mode3 표적의 미래 위치는 다음과 같다.

$$X^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t & 0 & t^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & t & 0 & t^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot X_0 + \begin{bmatrix} t^2/4 & 0 \\ 0 & t^2/4 \\ t/2 & 0 \\ 0 & t/2 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot V_0, \Pr(M_k^3 / Z_k), X^3 \quad (32)$$

여기서 X_0 는 다음과 같다.

$$X_0 = X + \Phi'(t)X_m \quad (33)$$

최종적으로 Mode 확률을 이용한 표적의 미래 위치는 다음과 같다.

$$X = \Pr(M_k^1 / Z_k) \cdot X^1 + \Pr(M_k^2 / Z_k) \cdot X^2 + \Pr(M_k^3 / Z_k) \cdot X^3 \quad (34)$$

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 위에서 언급한 초고속정용 사격제원 계산기에 들어가는 사통용 대함 추적필터 프로그램을 시뮬레이션 함으로써 사격제원계산장치에 적합한 추적필터를 설계하고자 하였다.

시뮬레이션은 현 state(위치, 속도, 가속도)의 예측에 주목하며 PHP(Predicted Hitting Point)는 고려하지 않았다. 각 센서(전자광학추적장비, 탐색레이더)로부터 들어오는 대함정보는 다음과 같다.

[표 1] 필터입력데이터 조건 및 형태

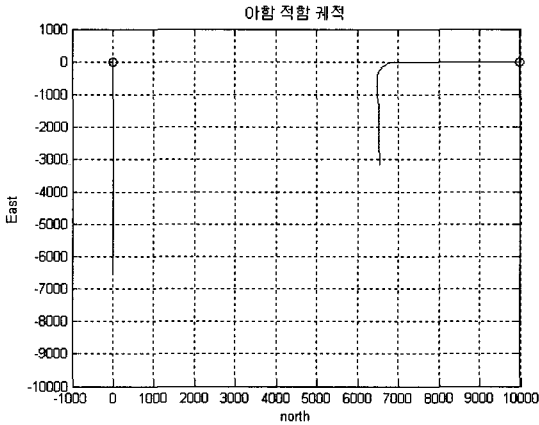
	Range accuracy	Bearing accuracy	Input updatetime	Filter updatetime
Surface EOTS	Xm	Xmrad	0.1s	0.2s
Surface_TWS	Xm	Xmrad	2s	2s

시나리오는 실제장비로부터 들어오는 데이터가 아닌 임의로 발생시킨 데이터를 이용했다. 대함의 궤적은 직선운동과 원운동에 대해서 발생하였다. 적합과 자함의 시나리오는 다음과 같다.

[표 2] 표적과 자함의 시나리오

시나리오	(Surface-TWS)	(Surface-EOTS)
표적거리	3~10km	3~10km
변침 각속도	초당 3도 이하	초당 3도 이하
변침각	90도	90도
자함의 최대가속도 (중심가속도)	0g	0g
자함의 최대속도	30KTS[m/s]	30KTS[m/s]
적함의 최대가속도	0.05g	0.06g
적함의 최대속도	30KTS[m/s]	30KTS[m/s]

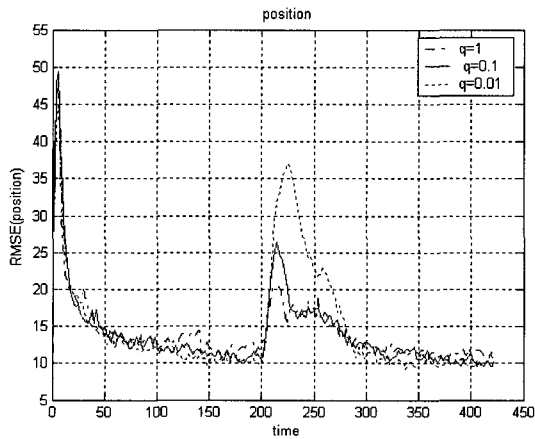
본 시뮬레이션에서는 자함의 자세(roll, pitch, yaw)는 없다고 가정한다. 자함의 자세를 적용한 필터에 관한 연구^[6]는 여기서는 제외시켰다. 시뮬레이션은 Monte Carlo Simulation을 100번 실행하였다.



[그림 3] 표적과 자함의 시나리오

Surface-TWS에 결과는 다음과 같다. 여기서는 프로세스 노이즈 변화에 따른 성능을 관찰하였다.

표적과 자함의 상대거리에 대한 위치 RMSE는 다음과 같다.

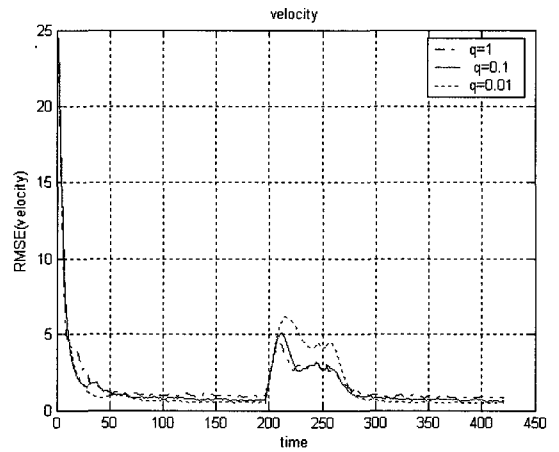


[그림 4] q값에 따른 위치오차

필터가 수렴하는데 50초가 걸린다. samplig time이 2초이므로 25개의 샘플이 들어와야 한다. Surface-TWS의 거리 정확도가 X_m 이므로 X_m 거리오차를 만

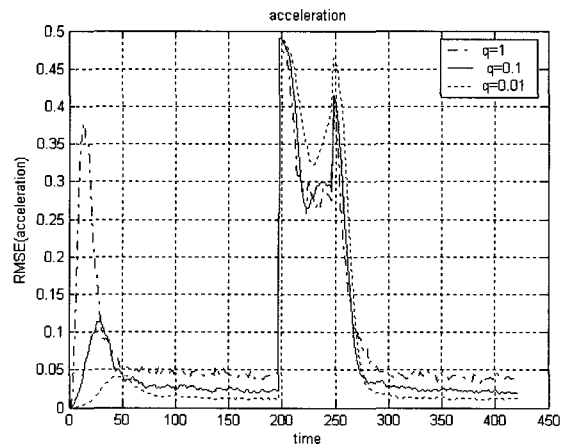
족한다. 다만 X_m 를 넘는 부분은 기동이 가장 급격한 부분으로써 사격계산용 추적필터에서는 얼마나 빨리 수렴하는가가 더 중요한 문제가 되므로 오차가 X_m 가되는 데 까지 걸리는 시간 수렴시간이 더 중요한 요소가 된다. 큰 기동이 발생하고 수렴하는데는 100초가 걸렸다. 필터의 개선을 통해 기동표적에 대해서 보다 빠른 수렴시간이 요구된다.

표적과 자함의 상대거리에 대한 속도 RMSE는 다음과 같다.



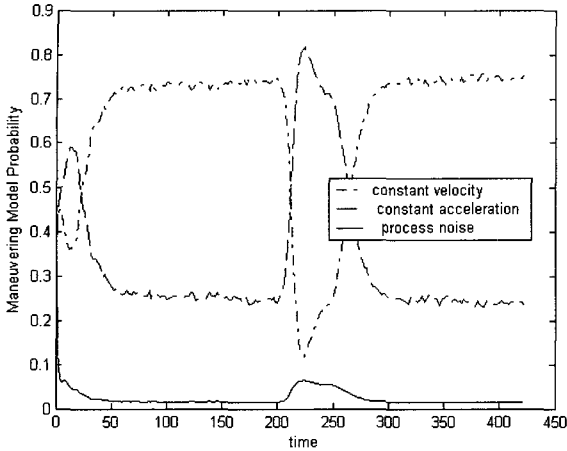
[그림 5] q값에 따른 속도오차

표적과 자함의 상대거리에 대한 가속도 RMSE는 다음과 같다.



[그림 6] q값에 따른 가속도 오차

모델 천이 확률은 다음과 같다.

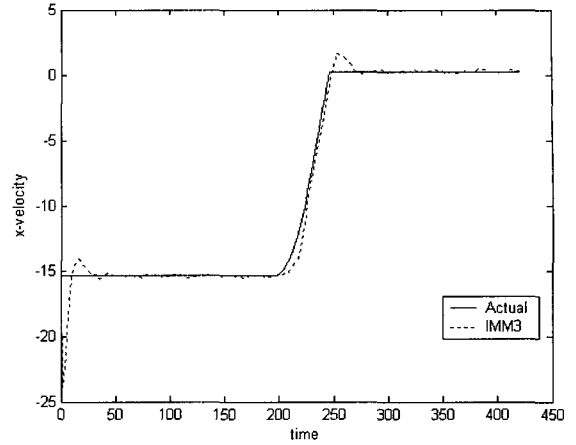


[그림 7] q=1일때 모델 천이과정

처음에는 3가지 모델에 대한 값이 같았지만 표적과 아함의 기동이 발생함에 따라 등속도 운동을 하다가 변칙하는 부분에서 등가속도 모델로 천이되면서 등속도와 등가속도 사이의 보정을 프로세스 노이즈모델이 해주고 있는 것을 알 수 있다. 다시 직선운동을 하면서 등가속도 운동은 줄어들고 등속도모델로 치우침을 알 수 있다.

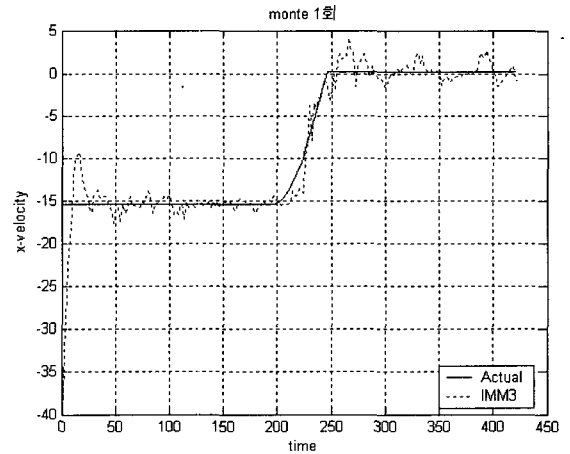
대함사격용 필터에서는 가속도 보다는 속도와 위치의 추정된 값이 더 중요하다. 가속도의 경우 표적에 의해서 또는, 자함의 의해서 기동이 발생한 경우 대함표적은 탄의 비행시간이 대공표적에 비해 상대적으로 길기 때문에 가속도의 보정은 오히려 표적의 미래 위치를 예측하는데 오차를 더 유발하게 만드는 요인이 된다. 가속도의 경우는 표적과 자함사이에 기동이 일어났다는 것을 의미한다. 이럴 경우 기동에 의해서 발생하는 필터의 수렴시간을 최소화하면서 수렴된 데이터를 이용해서 위치와 속도만으로도 표적의 미래 위치를 예측할 수 있다. 왜냐하면 기동하는 표적에 대해서는 예측시간이 길 때는 현실적으로 예측오차가 커지기 때문이다.

다음은 각속별로 설계한 필터가 얼마나 실제속도값을 잘 따라가는 가를 보여주고 있다.



[그림 8] q=1, x-velocity

그런데 위의 값은 Monte Carlo Simulation을 100번 실행한 값이다. 그런데 실제 시스템에서는 1번의 값을 사용하므로 위의 상황과는 다르게 나타난다. 아래 그림과 같다.

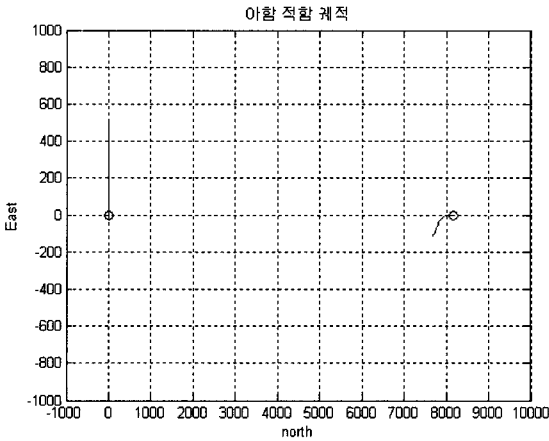


[그림 9] 1회, q=1, x-velocity

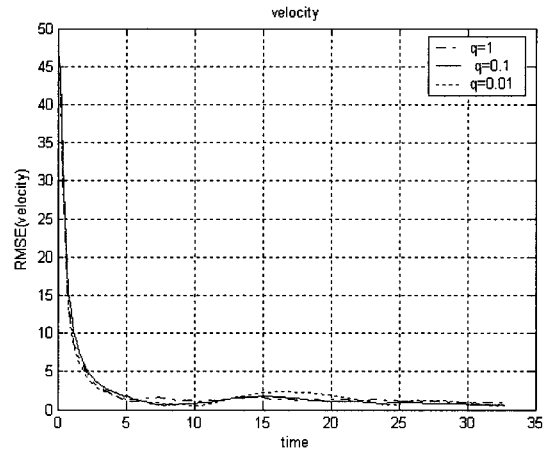
그러므로, 대함사격용 필터를 설계함에 있어서 RMSE값 외에도 탄의 비행시간을 고려한 예상요격지점에 대한 값의 거리, 방위, 분산이 최종적인 추적필터 설계시의 주요관건이라고 볼 수 있다.

Surface-EOTS에 대한 결과는 그림 10과 같다.

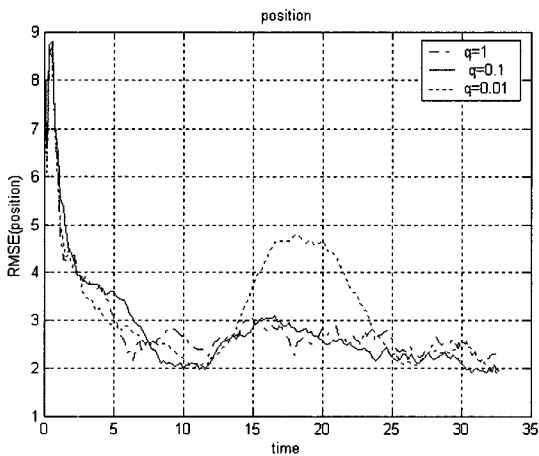
표적과 자함의 상대거리에 대한 위치 RMSE는 그림 11과 같다.



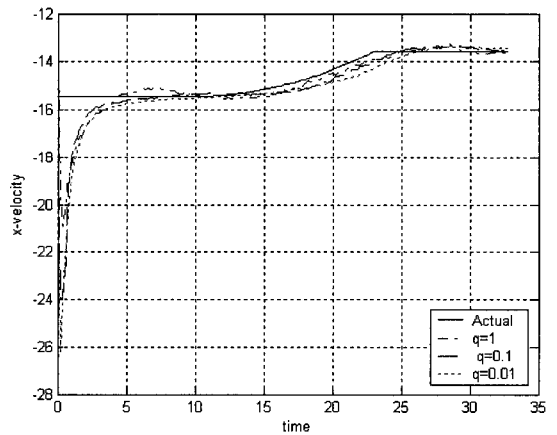
[그림 10] 표적과 자함의 시나리오



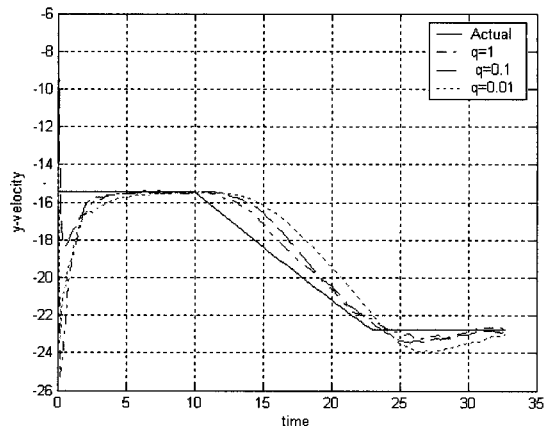
[그림 12] q값에 따른 속도오차



[그림 11] q값에 따른 위치오차



[그림 13] q값에 따른 x축 속도비교



[그림 14] q값에 따른 y축 속도비교

q가 1, 0.1보다 센서의 거리오차 X_m 안에 들다 들어오므로 양호하다. q의 최적값은 0.1과 1사이에 값이 적정하다. 필터가 안정화 되기까지는 5초정도가 소요된다. sampling time이 0.2초이므로 샘플수가 25개정도 들어와야 한다.

표적과 자함의 상대거리에 대한 속도 RMSE는 그림 12와 같다.

그림 13, 14는 각축별로 설계한 필터가 얼마나 실제속도값을 잘 따라가는가를 보여주고 있다.

공정잡음의 경우 기동이 클수록 최대중심가속도 ($a_M = 0.06g$)로 했을 때 공정잡음의 표준편차는 $0.00065 \leq \sigma_v \leq 0.025$ 이다. σ_v 를 권장값으로 한

$q=0.01$ 일 때보다 1과 0.1사이의 값이 더 적절한 값으로 결과가 나왔다. 이것은 각축성분으로 자함과

적합이 상대적인 이동을 하기 때문에 각 축에 대해서 최대가속도와는 다른 가속도성분이 나타난 것이라고 추정된다.

5. 결론

본 논문은 함포의 사통용 대함추적필터의 성능을 분석하기 위해서 IMM3을 이용한 필터를 설계하였다. 기존의 논문은 추적필터가 고정된 지점에서 필터링을 하였는데, 본 논문에서는 자함이 기동하는 상황에서 추적성능을 보여주고 있다. 직선운동모델, 등가속도 운동모델, 공정잡음모델로 이루어진 IMM3를 적용한 필터의 성능을 알아보았다. 필터의 성능은 모드천이 확률과 공정잡음을 통해서 결정됨을 알 수 있었다.

대함 사통용 IMM 필터는 기동하는 표적에 대해서 추적시 singer 모델과는 달리 초기 설정된 파라메타에 의해 여러형태의 기동표적에 대한 표적추적이 가능하다. 대함사통용 추적필터는 대함의 특성상 비과시간이 길고, 기동이 대공에 비해서 시간당 빠르지 않고 비교적 단순하기 때문에 필터에서 나온 추정치 값(위치, 속도, 가속도)중 가속도를 제외하고 위치와 속도만으로 표적의 미래위치를 예측하는 입력값으로 사용해도 유효하다.

턴과 같은 갑작스런 기동에 대해서도 사격을 가능하게 위해서 가속도를 고려한 미래위치를 구하는 것 보다는 그런 기동은 최대한 필터가 빨리 수렴하는나가 더 중요하다. 예측오차가 가장 적게 나는 구간을 늘임으로써 전체적인 사격정확도를 높이는 방법이다.

향후 연구내용은 다음과 같다. 사격제원계산장치에서의 추적필터는 현재시점에서의 표적의 추정치보다는 비과시간이후의 표적의 미래위치를 어떻게 잘 추정하는가가 중요하다. 예상요격지점을 산출하기 위해서 모델천이확률을 사용하는 방법과 2차모델을 사용하는 방법이 있는데, 비과시간이후의 이 둘의 미래위치에 대한 거리, 방위, 고각 방향으로의 표준편차를 비교해서 비과시간 이후의 적적할 모델천이확률과 공정잡음선정이 보다 더 연구되어야 한다.

참고 문헌

- [1] H. A. P. Blom, and Y. Bar-Shalom, "The interacting multiple model algorithm for system with a jump-linear smoothing application", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-33, No. 8, 1988, pp.780~783.
- [2] Y. Bar-Shalom, and Xiao-Rong Li, "Estimation and Tracking Principles, Techniques and Software", Artech House Inc, 1993.
- [3] X Rong Li, "Design of an Interacting Multiple Model Algorithm for Air Traffic Control Tracking", IEEE Transaction on Control Systems Technology, Vol. 1, No. 3, 1993, pp. 186~194.
- [4] 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
- [5] 김현식 외, "기동 표적 추적을 위한 퍼지 IMM 알고리즘에 관한 연구", 한국군사과학기술학회지 제7권 제4호(2004.12).
- [6] 이영주 외, "Singer model을 이용한 함정용 사격제원계산장치 추적필터 연구", 국방과학연구소 보고서, NSDC-515-050344.
- [7] Singer, R. A., "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets", IEEE Transactions on AES, Vol. 6, No. 4, 1970. 7, pp.473~483.
- [8] 최성희 외, "함정용 탐색레이다 대함/대공추적필터 기법 연구", 국방과학연구소 보고서, TEDC-717-040793
- [9] Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li "Estimation and Tracking : Principle, Techniques and Software".