

위상 배열 다기능 레이더의 탄도탄 추적 필터 성능 분석

Performance Analysis of Tactical Ballistic Missile Tracking Filters in Phased Array Multi-Function Radar

정 광 용

Kwang-Yong Jung

요 약

본 논문에서는 다기능 레이더를 이용한 탄도탄 추적을 위해 알파-베타 필터, 칼만 필터, 탄도탄 추적 필터의 성능을 분석하였다. 제시된 필터들은 탄도탄의 궤적과 다기능 레이더의 신호처리기를 모의하는 시뮬레이터를 기반으로 시뮬레이션 되었다. 그 결과, 제안한 탄도탄 추적 필터의 성능이 알파-베타 필터에 비해 최대 75.3 %의 속도 오차 감소 효과가 있음을 확인하였다. 또한, 추적 초기화 이후에 제안한 필터가 칼만 필터보다 거리, 속도 오차가 작아 안정적인 성능을 보였다. 마지막으로 각도 추적에서도 전체 시나리오 구간에서 안정적인 동작을 확인하여 초고속 탄도탄 표적의 추적에 적합함을 입증하였다.

Abstract

This paper compares the performance of several tracking filters, namely, alpha-beta filter, Kalman filter and TBM tracking filter for ballistic target tracking problem using multi-function radar. Every of three tracking filters suggested was tested on simulator developed in accordance with TBM trajectory and MFR RSP measurement. The result shows the method using TBM tracking filter gives 75.3 % decreased velocity RMS error than alpha-beta filter. After initialization, the RMS error of range and velocity of the proposed filter is also smaller than the Kalman filter. Finally the proposed filter is suitable for high-speed TBM tracking due to the stable angle tracking accuracy.

Key words : Multi Function Radar, Tactical Ballistic Missile, Ballistic Factor, Reentry Stage, Tracking Filter

I. 서 론

최근 주된 위협으로 급부상하고 있는 탄도미사일 (TBM: Tactical Ballistic Missile)의 경우, 이를 방어하기 위해 미국이 구축한 미사일 방어 체계가 있으나, 이는 우주와 공중, 지상 및 해상에 배치된 다양한 플랫폼의 조기 경보/감시 체계로부터 식별된 위협체의 정보를 기반으로 부스트 단계, 중간 단계, 재진입 단계까지 단계별로 요격하는 다층 복합 방어 체계이다

[1]. 특히, 한반도의 전장 상황을 고려할 경우, 지형적인 특성에 의하여 재진입 단계에서의 하층 방어가 필수적이다[1]. 다기능 레이더는 실시간으로 다수의 표적을 탐지, 추적하여 거리 속도 및 각도 정보를 제공하는 최신 레이더 시스템이며, 표적의 탐지와 추적을 위한 전자적인 빔 조향을 수행한다. 또한, 높은 정밀도를 가지는 추적 정보를 이용하여 위협체를 판단하고, 격추 판단에 필요한 위치, 속도 정보를 유도 탄에 제공할 수 있어 탄도탄 방어에 적합한 센서 체

삼성탈레스 레이더체계그룹(Radar System Group, Samsung Thales)

· Manuscript received April 9, 2012 ; Revised August 2, 2012 ; Accepted August 3, 2012. (ID No. 20120409-039)

· Corresponding Author : Kwang-Yong Jung (e-mail : kwangyong.jung@samsung.com)

계이나 현재 국내에서는 선행 연구 단계이다.

대기권 재진입 단계의 탄도탄을 추적하는 문제는 대표적인 비선형 추적 문제로 이를 수행하기 위해 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 그중 대표적인 기법으로는 칼만 필터의 선형 시스템 모델을 비선형 모델로 확장하여 적용하는 비선형 확장 칼만 필터(EKF: Extended Kalman Filter), 선형화 과정을 생략하고 언센티드 변환 기법을 이용하여 안정성을 향상시킨 언센티드 칼만 필터(UKF: Unscented Kalman Filter), 수천개의 파티클(Particle)의 가중치로 표적의 확률 밀도 함수(PDF: Probability Density Function)를 추정하는 파티클 필터(PF: Partical Filter) 등이 있다^[2].

탄도탄 추적 시 확장 칼만 필터를 사용하는 경우, 탄도 계수를 추정하게 되면 그렇지 않은 경우보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있다^[3]. 하지만 일반적으로 확장 칼만 필터를 사용하는 경우, 일반 선형화 필터에 비하여 위험성이 커지는데, 초기 측정치의 불확실성(uncertainty)과 측정 오차(measurement error)에 의해서 필터의 오차가 커지면서 발산할 가능성이 있다^[3]. 이러한 필터의 발산 가능성은 대기권 진입 후 수십 초 이내에 탄착 지점(IP: Impact Point)에 들어오는 초고속 탄도탄에 대하여 중고도 구간에서 사격 교리를 수행하는데 치명적인 단점으로 작용한다. 또한, 언센티드 칼만 필터나 파티클 필터를 사용하는 경우, 실시간 연산량이 상대적으로 많아 다기능 레이더의 스케줄링 시간을 증가시키고 시스템에 부하를 가중시키는 단점이 있다.

본 논문은 대기권에 재진입하는 탄도탄 운동을 모델링하고, 이를 상태 변수 예측에 적용하는 방법을 제안하며 탄도탄을 정확히 탐지, 추적하기 위하여 탄도 계수(ballistic coefficient)를 추정하는 선형화 추적 필터를 설계하고, 이를 다기능 레이더 시뮬레이터에 적용하여 기존의 알파-베타 필터 및 칼만 필터와 비교, 분석한 성능 분석 결과를 제시한다.

II. 대기권 재진입 탄도탄 모델

일반적으로 탄도탄의 궤적 특성은 크게 세 단계로 구분할 수 있다^[4]. 부스트 단계(boost)는 탄도탄이 발사되고 대기권 진입을 위한 엔진 추력이 종료되는 시점까지로 정의한다. 중간 단계(ballistic or coast)는

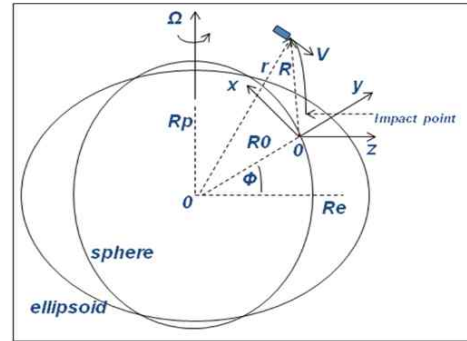


그림 1. 지구 모델(WGS-84)과 탄도탄 운동
Fig. 1. Earth model(WGS-84) and TBM motion.

연소 종료 후 대기권 밖에서 자유비행을 하는 단계로 주로 중력과 코리올리의 힘에 의한 영향을 받는 구간이다. 재진입 단계(re-entry)는 탄착 지점을 향해 대기권에 재 진입하는 단계로 이때 탄도탄의 운동 모델은 가장 복잡한 형태가 된다. 본 논문에서는 재진입 단계에서 나타날 수 있는 탄도탄 운동에 대한 시뮬레이션 모델을 바탕으로 위협체를 정의하며 탄도탄의 운동 모델은 다음 사항을 가정하였다.

- 질량 중심으로부터 표적의 회전(rotation)은 없다.
- 중력은 뉴턴의 중력 법칙을 따라 지구 중심 방향으로 작용한다.
- 대기에 의한 항력(drag force)이 존재한다.
- 지구 자전에 의한 원심력과 코리올리의 힘을 고려한다.
- 지구는 타원체 모델(WGS-84)이다.

2-1 레이더 측정 좌표계

레이더에 의한 표적의 위치 측정은 안테나 좌표계에서 이루어지며, 좌표 변환에 의해 지구 중심 좌표계(ECEF: Earth Centered Earth fixed)^[4]로 변환된다. 레이더는 그림 2의 안테나 좌표계에서 r, u, v 를 측정하며 식 (1)과 같이 정의된다.

$$z_k = [r u v]^T, \quad \begin{aligned} u &= \sin(\theta_a) \\ v &= \sin(\theta_e) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)로부터 안테나 좌표계로의 변환은 식 (2)와 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} X_a &= r \sqrt{1 - u^2 - v^2} \\ Y_a &= r v \\ Z_a &= r u \end{aligned} \quad (2)$$

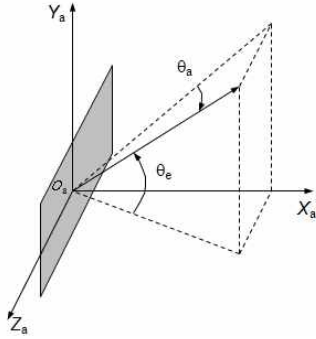


그림 2. 안테나 좌표계에서 레이더 측정치
Fig. 2. Radar measurement in antenna coordinate.

그림 2에서 측정치는 서로 독립적인 측정 잡음을 가지며, 측정 잡음의 공분산은 평균이 0이고, 분산이 식 (3)과 같은 가우시안 분포를 가정한다.

$$R_{ruv} = \begin{pmatrix} \sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_v^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_u^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

III. 탄도탄 추적 필터 설계

3-1 알파-베타 필터

알파-베타 필터는 간단한 구조로 인하여 칼만 필터에 비해 계산량을 줄일 수 있고, 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 필터의 특징은 칼만 필터의 이득 계산 시 정상 상태(steady-state)에서의 공분산을 사용한다는 점이다. 다기능 레이더에 적용 시 필터의 구조를 간단히 하기 위하여 좌표상의 각 축(x, y, z)별로 필터를 구분하여 사용하며, 각각의 축에서 식 (4)와 같이 위치와 속도를 계산한다. 이때 α 는 각 축에 대한 위치 추정에 필요한 필터 이득이며, β 는 각 축에 대한 표적의 속도 추정에 사용하는 이득이다.

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_{pos} \\ \hat{x}_{vel} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x}_{pos} \\ \bar{x}_{vel} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta/T \end{pmatrix} (z_k - \bar{x}_{pos}) \quad (4)$$

3-2 칼만 필터

일반적인 칼만 필터는 시스템 동역학과 측정 모델로 구분된다. 그림 3은 칼만 필터의 상태 변수 예측(predict)과 쇄신(update, smooth) 과정을 나타낸다^[5].

탄도탄 추적을 위해 필터의 상태 변수는 위치, 속

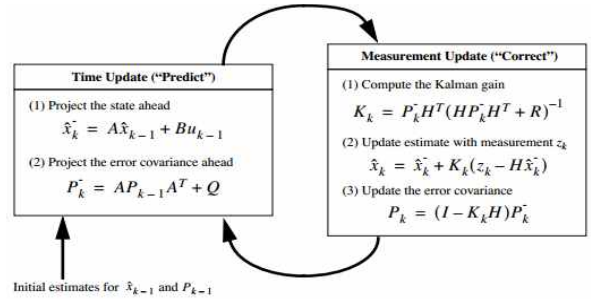


그림 3. 칼만 필터의 상태 변수 쇄신과 예측 과정
Fig. 3. State vector update and prediction process of Kalman filter.

도, 가속도를 포함하며, 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{X} = [x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}]^T \quad (5)$$

본 논문에서 칼만 필터는 레이더의 안테나 좌표계와 지구 중심 좌표계를 고려하며, 예측은 지구 중심 좌표계에서 수행하고 상태 변수 쇄신은 안테나 좌표계에서 수행한 후 지구 중심 좌표계로 변환된다.

3-3 탄도탄 추적 필터

본 논문에서 제안하는 탄도탄 추적 필터는 탄도 계수를 추정하며, 필터의 강인성을 보장하기 위해 다음과 같이 탄도 계수(γ : ballistic factor)를 포함하는 상태 변수를 정의한다($\chi = \sqrt{\gamma}$).

$$\vec{X} = [x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \chi]^T \quad (6)$$

공분산 행렬(covariance matrix)은 다음과 같이 정의한다.

$$P = cov \begin{bmatrix} x^2 & xy & xz & x\dot{x} & x\dot{y} & x\dot{z} & x\chi \\ y^2 & yz & y\dot{x} & y\dot{y} & y\dot{z} & y\chi \\ z^2 & zx & zy & z\dot{x} & z\dot{y} & z\chi \\ x^2 & x\dot{y} & x\dot{z} & \dot{x}^2 & \dot{y}\dot{x} & \dot{z}\dot{x} \\ y^2 & y\dot{z} & \dot{y}\dot{x} & \dot{y}^2 & \dot{y}\dot{z} & \dot{y}\chi \\ z^2 & z\chi & \dot{z}\dot{x} & \dot{z}^2 & \dot{z}\chi & \chi^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

대공 감시 레이더의 경우, 기상, 강우 등 클러터에 의한 영향으로 필터의 발산을 초래하는 경우가 발생하는데, 이러한 필터의 발산을 막기 위해서 공분산 계산 시 다음과 같은 제한 조건을 설정한다.

$$P(7,7) = cov(\chi^2) > \chi_{min}^2 \quad (8)$$

안테나 좌표계에서 측정되는 비선형 측정치(r, u, v)는 필터의 표적 위치 상태 변수인 x, y, z 에 대한 비선형함수이므로 식 (2)를 이용하여 아래와 같이 선형화하여 사용한다.

$$y = \begin{pmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \nu X_a \\ \nu Y_a \\ \nu Z_a \end{pmatrix} \equiv x_a + \nu_{x_a} \quad (9)$$

이때, 선형화된 의사 측정치(pseudo-measurement)의 공분산은 식 (10)과 같이 근사화한다.

$$R_a = \left(\frac{\partial x_a}{\partial y} \right) R_{ruv} \left(\frac{\partial x_a}{\partial y} \right)^T \quad (10)$$

여기서 편미분행렬은 식 (9)의 x_a 를 레이더의 측정치 r, u, v 에 대해 편미분한 것으로 다음과 같이 계산한다.

$$\left(\frac{\partial x_a}{\partial y} \right) = \begin{bmatrix} \frac{X_a}{r} & -\frac{r^2 v}{X_a} & -\frac{r^2 u}{X_a} \\ v & r & 0 \\ u & 0 & r \end{bmatrix} \quad (11)$$

필터의 예측 단계는 레이더의 빔 조향 명령을 위해 현재 예측한 표적의 위치를 나타내는 상태 변수와 상태 변수의 모호성을 나타내는 공분산으로 이루어진다. 일반적인 칼만 필터의 상태 변수의 예측은 시스템 동역학 모델을 이용하며, 식 (12)와 같다.

$$\bar{x}_k = F \hat{x}_{k-1} \quad (12)$$

본 논문에서는 상태 변수 예측 시 식 (12)의 시스템 행렬(F)을 사용하지 않고 그림 1에서 정의되는 탄도탄의 미분방정식을 4차 룬지-쿠타법(Runge-Kutta)으로 적분하여 계산한 값을 사용하며, 이후 상태 변수 쇄신을 위해 안테나 좌표계로 변환하는 방법을 제안한다. 이때 공분산 계산에 필요한 시스템 행렬을 얻기 위해 안테나 좌표계에서 가속도는 식 (13)으로 간단히 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} - \chi^2 q \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (13)은 중력과 항력에 의한 감속이며, 식 (14)의 $\rho(h)$ 는 고도에 의해 변하는 대기 밀도를 의미한다.

$$q = \frac{\rho(h) V}{2}, \quad V = \sqrt{\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 + \dot{Z}^2} \quad (14)$$

식 (13)에서 지구 중력은 식 (15)와 같이 작용한다.

$$[g_x \ g_y \ g_z]^T = [0 \ 9.81 \ 0]^T \quad (15)$$

상태 변수의 공분산 계산은 식 (13)을 이용하여 다음과 같은 시스템 행렬(F)을 정의하고, 이를 안테나 좌표계에서 공분산의 예측값을 계산하는 경우에 사용한다.

$$F(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & (g_x/\chi - \chi q \dot{X}) \frac{t^2}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & (g_y/\chi - \chi q \dot{Y}) \frac{t^2}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & (g_z/\chi - \chi q \dot{Z}) \frac{t^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & (g_x/\chi - \chi q \dot{X}) t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (g_y/\chi - \chi q \dot{Y}) t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (g_z/\chi - \chi q \dot{Z}) t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

필터의 상태 변수 쇄신(update)은 측정치와 예측 단계에서 계산된 표적의 위치를 이용하여 현재 탄도탄의 위치를 추정하는 단계로 그림 3에서와 같이 칼만 이득(K_k), 상태 변수의 쇄신값(\hat{x}_k) 및 쇄신된 상태 변수의 모호성을 나타내는 공분산(P_k)을 계산하게 된다. 상태 변수의 쇄신은 안테나 좌표계에서 수행한 후 지구중심 좌표계로 변환된다.

IV. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 제시된 추적 필터 간의 탄도탄 추적 성능 분석을 위한 시뮬레이션을 수행한다. 시나리오는 그림 4와 같이 재진입 단계의 탄도탄은 RCS 0.1 m², 거리 65 km, 고도 50 km에서 최대 속도 기준 2,400 m/s로 진입하며, 진입 고각은 40도로 설정하였다. 다기능 레이더 신호처리기 설정 시 거리 게이트는 ±150 m, 속도 게이트는 ±200 m/s로 설정하였으며, 200회의 통계 시뮬레이션 중 시나리오 구간에서 6회의 연속 추적 소실이 발생하면 필터의 성능 분석을 중단한다.

그림 4는 탄도탄 특성 및 재진입 단계의 예상 진입 궤적 분석을 바탕으로 설정된 시뮬레이션 결과이

표 1. 필터별 예측 정확도

Table 1. Prediction accuracy of filters.

필터	알파-베타 필터				칼만 필터				탄도탄 추적 필터			
	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)
RMS	12.5	47.5	1.7	0.9	8.1	27.7	1.6	1.0	8.8	15.5	1.2	1.0
Bias	-6.2	13.8	0.1	-0.7	-3.0	15.4	1.1	0.2	-3.3	-1.1	-0.1	-0.3
STD	10.9	45.4	1.7	0.9	7.5	23.0	1.1	0.2	8.2	15.5	1.2	0.9

표 2. 필터별 쇄신 정확도

Table 2. Update accuracy of filters.

필터	알파-베타 필터				칼만 필터				탄도탄 추적 필터			
	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)	R(m)	속도(m/s)	u(min)	v(min)
RMS	9.6	50.2	1.4	0.7	6.3	24.7	1.4	0.7	7.0	12.4	0.9	0.8
Bias	-5.6	18.9	-0.1	-0.1	-3.0	15.1	1.0	0.1	-3.5	-1.8	-0.1	-0.3
STD	7.7	45.4	1.4	0.7	5.5	21.6	3.4	2.3	6.2	15.5	0.9	0.8

며, 궤적의 속도와 가속도 특성 및 시뮬레이션 수행 과정에 대한 최종 결과를 확인할 수 있도록 구성되었다.

표 1과 표 2는 RMS(Root Mean Square), 바이어스(Bias), STD(Standard Deviation) 오차로 시뮬레이션 시간 33초 구간에 대한 200회의 반복시험 데이터 전체에 대한 통계값이다. 표 1에서 알파-베타 필터의 RMS 오차가 거리 12.5 m, 속도 47.5 m/s로 가장 큰 것으로 나타났다. 표 2에서 알파-베타 필터의 RMS 오차도 9.6 m과 50.2 m/s로 역시 가장 크게 나타났다. 칼만 필터의 RMS 오차는 알파-베타 필터에 비해 거리는 최대 35 %, 속도는 최대 50 %까지 감소되었음을 볼 수 있다. 탄도탄 추적 필터의 경우, 속도 RMS 오차는 예측 시 15.5 m/s, 쇄신 시 12.4 m/s로, 알파-베타 필터에 비하여 67.4 %, 75.3 %가 감소하여 정확도가 가장 크게 향상되었다. 그림 5~7은 탄도탄 궤적의 비행 특성에 따른 추적 필터의 성능을 확인하기 위한 것으로 샘플링 시간에 따라 계산된 200개의 데이터에 대한 필터의 예측(predict)과 쇄신(smooth) 결과의 RMS 오차이다. 이는 각도 정확도의 경우처럼 표 1과 표 2에서 필터별로 정확도에 크게 차이가 없는 경우라도 진입 궤적의 특정 시간에 따른 오차 분석을 통해 레이더의 빔 폭이나 추적 게이트를 벗어날 가능성을 판단할 수 있어 추적 필터의 성능 분석에 중요한 지표가 된다.

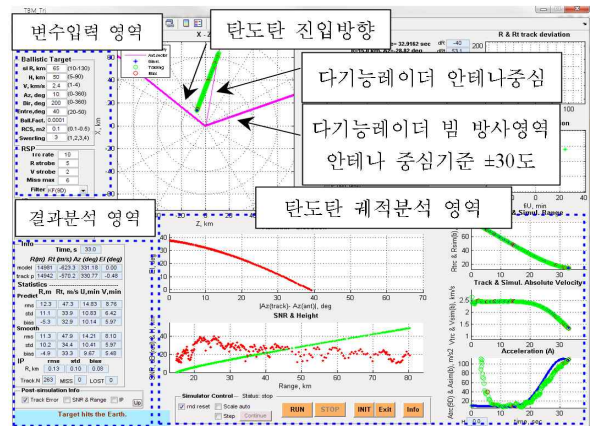


그림 4. 다기능 레이더 시뮬레이터
Fig. 4. Multi-function radar simulator.

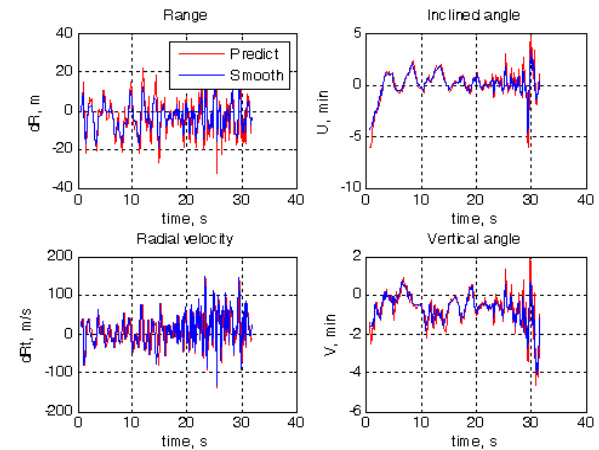


그림 5. 알파-베타 필터 추적 오차
Fig. 5. Tracking error of alpha-beta filter.

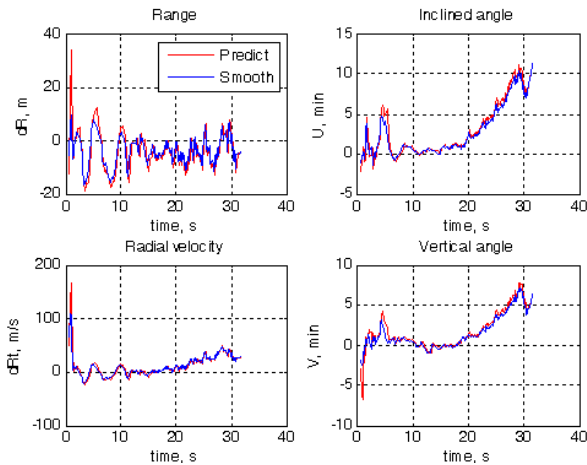


그림 6. 칼만 필터 추적 오차
Fig. 6. Tracking error of Kalman filter.

그림 5는 알파-베타 필터의 추적 정확도에 대한 결과이다. 그 결과, 시뮬레이션 시간동안 거리 및 속도 정확도가 각각 ± 30 m와 ± 150 m/s 구간에서 변하며, 속도 추정 오차의 변화 구간은 세 개의 필터 중에서 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 특성은 표 1과 표 2를 통해 쉽게 알 수 있다. 반면, 각도 정확도의 경우, 시뮬레이션 시간동안 비교적 안정적으로 나타났다.

그림 6은 칼만 필터에 대한 결과로 최초 5초 이내의 거리, 속도 예측 오차가 각각 30 m, 100 m/s 이상으로 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 최초 탄도탄 탐지 후 필터 초기화 시 추적 소실의 확률을 높이는 원인이 되며, 표준 편차를 이용한 추적 게이트의 설계 시 게이트 크기를 크게 해야 하는 단점으로 작용한다. 또한, 각도 오차는 시간이 지나면서 7~10

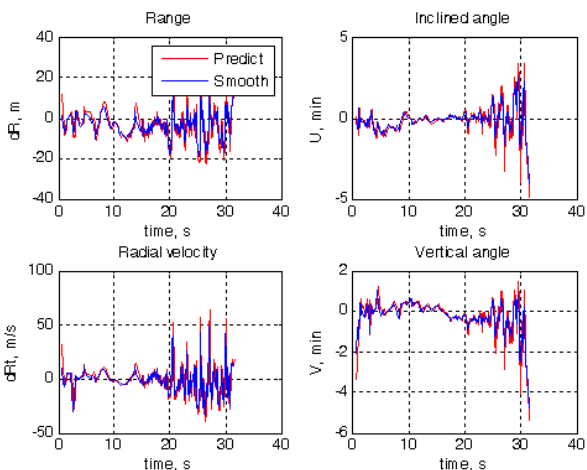


그림 7. 탄도탄 추적 필터 추적 오차
Fig. 7. Tracking error of TBM tracking filter.

min까지 점점 증가하는 추세가 나타났는데, 이는 안테나 빔 조향 바이어스가 있음을 의미한다. 이는 표 1과 표 2의 칼만 필터 Bias가 가장 큰 것으로 확인할 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 제시한 탄도탄 추적 필터에 대한 결과이며, 필터 초기화 시점(5초 이내)의 오차가 거리 15 m 이하, 속도 30 m/s 이하로 진입단계의 탄도탄 속도를 빠르게 추정함을 알 수 있다. 각도 정확도의 경우, 초기화 이후 최대값이 6 min 이하로 안정된 값을 유지하여 탄도탄 추적에 적합함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 다기능 레이더의 탄도탄 추적 필터 설계 및 기존 추적 필터와의 성능 분석을 수행하였다. 그 결과, 제시한 필터의 속도 RMS 오차는 알파-베타 필터에 비해 최대 75.3 %의 성능 향상을 보였으며, 칼만 필터에 비해 거리, 속도에서 안정적인 추적 초기화 성능을 보였다. 각도 정확도의 경우, 바이어스 현상 없이 안정적인 추적을 유지하여 제한한 필터가 탄도탄 추적에 적합함을 보였다. 현재 국내의 탄도탄 방어를 위한 다기능 레이더 추적 기술은 초기 단계이며, 개발 사례가 없는 실정이다. 본 연구를 통해 탄도탄 하층 방어 시 신뢰성 있는 추적 필터의 적용이 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 권용수, 김정희, "TBM 비행궤적 특성을 통한 하층 방어 센서체계 요구 사항 도출", 제15차 유도무기 학술대회, pp. 460, 2009년 10월.
- [2] Zhanlue Zhao, Huimin Chen, Genshe Chen, Ghiman Kwan, and X. Rong Li, "Comparision of several ballistic target tracking filters", *IEEE American Control Conference*, pp. 2197-2202, Jun. 2006.
- [3] X. Rong Li, Vesselin P. Jilkov, "Application of extended Kalman filter to tactical ballistic missile re-entry problem", *ArXiv e-prints*, Jul. 2007.
- [4] X. Rong Li, Vesselin, and P. Jilkov, "A survey of maneuvering target tracking-part II: ballistic target models", In *Proceedings of the 2001 SPIE Conference on Signal and Data Processing of Small Tar-*

gets, vol. 4473, pp. 2197-2202, San Diego, CA, Jul.-
Aug. 2001.

kalman filter", *UNC-Chapel Hill, TR95-041*, p. 6,
Jul. 2006.

[5] Greg Welch, Gary Bishop, "An introduction to the

정 광 용



2005년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터
공학부 (공학사)

2007년 2월: 한양대학교 전자전기
제어계측공학과 (공학석사)

2006년 12월~현재: 삼성탈레스 레
이더연구소 선임연구원

[주 관심분야] 다기능 레이더 시스
템알고리즘, 추적 필터