The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 24, No. 3, pp.115-121, Jun. 30, 2024. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.3.115
JIIBC 2024-3-17

기동 플랫폼 탑재 레이다 추적 성능 향상을 위한 항법 필터 설계

Design of Navigation Filter to Improve Tracking Performance in Radar with a Moving Platform

조형준*, 문현욱*, 안지훈**, 손성환*

Hyeong-Jun Cho*, Hyun-Wook Moon*, Ji-Hoon An**, Sung-Hwan Sohn*

요 약 기동 플랫폼에 탑재된 레이다는 플랫폼이 이동 및 회전함에 따라 레이다의 좌표계 상태도 같이 변화한다. 이 때, 추적을 수행하기 위하여 센서로부터 측정된 플랫폼의 상태 정보를 이용하여 표적의 좌표를 변환하게 되며 센서의 잡음, 통신 지연, 센서 갱신 주기와 같은 원인으로 인하여 추적 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 센서의 오차로 인한 추적 성능 저하를 최소화하기 위하여 기동 플랫폼의 상태정보를 추정하기 위한 항법 필터를 설계하고 모의 시험을 통해 항법 필터 적용을 통한 추적 성능 개선 효과를 분석하였다. 이러한 항법 필터 설계를 위하여 3가지의 필터 알고리즘을 분석 및 적용하여 각 필터별 플랫폼 위치 및 자세 성능 개선 효과를 확인하였고 가장 높은 성능의 필터 알고리즘을 적용하여 설계된 항법 필터를 추적 모의 시험에 적용하여 항법 필터 적용 전후의 추적 성능 개선을 확인하였다.

Abstract As the radar mounted on a moving platform moves and rotates, the state of the radar's coordinate system also changes. At this time, in order to track target, the target's coordinates should be converted using the platform state measured from the sensor, and tracking performance may deteriorate due to causes such as sensor noise, communication delay, and sensor update cycle. In this paper, to minimize the degradation of tracking performance because of sensor error, we designed a navigation filter to estimate the state of the moving platform and analyzed the effect of improving tracking performance by applying the navigation filter through a simulation test. To design this navigation filter, three filter algorithms were applied and analyzed to confirm the effect of improving platform position and attitude performance for each filter, and the navigation filter designed by applying the highest performance filter algorithm was applied to a tracking simulation test. Finally we confirmed Improvement in tracking performance before and after applying navigation filters.

Key Words : Kalman Filter, Moving Platform, Navigation, Radar, Tracking

*정회원, LIG Nex1
**정회원, LIG Nex1
접수일자 2024년 3월 28일, 수정완료 2024년 5월 9일
게재확정일자 2024년 6월 7일

Received: 28 March, 2024 / Revised: 9 May, 2024 /
Accepted: 7 June, 2024
*Corresponding Author: hyeongjun.cho@lignex1.com
Dept. of Radar R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd Korea.

Ⅰ. 서 론

레이다는 다양한 환경에서 표적 탐지 및 추적 임무를 수행하며, 전투기, 함정, 드론과 같은 기동형 플랫폼에 부착되어 운용되기도 한다.[1,2,3,4,5,6,12,13] 이 때, 고정형 플랫폼에 탑재되어 운용되는 레이다와 다르게 기동형 플랫폼에 탑재된 레이다는 위치와 자세가 수시로 변화한다. 이에 따라 관성좌표계 기준 레이다 좌표계가 수시로 이동 및 회전하기 때문에 표적을 탐지하였을 때, 추적을 수행하기 위하여 플랫폼 기준 고정 좌표계로 표적의 위치를 변환한다. 이 좌표변환을 위해 플랫폼의 위치, 자세 정보를 이용해야 하며 이는 플랫폼에 부착된 센서에서 수신받아 사용한다. 이로 인해 센서값이 플랫폼의 상태와 동일하게 측정이 된다면 문제가 발생하지 않으나 실제 환경에서는 센서 오차에 의해 추적 성능 열화가 발생하게 되며, 이러한 요인으로는 센서 자체의 잡음 및 통신 지연, 센서 갱신 주기에 의한 오차 등이 있다. 그러나 대부분의 기동 플랫폼에 탑재된 레이다에서 표적에 대한 추적을 수행할 때, 센서를 이용한 표적 좌표 변환에서 위와 같은 오차의 보상은 고려되어있지 않다.[3,4,5,6,7,8,9] 그렇지만 항법 필터를 이용하여 위 오차를 보상함으로써 플랫폼의 위치 및 자세 정보를 더 정확한 값으로 사용할 수 있게 되면 추적 성능 향상이 가능하다.

본 논문에서는 플랫폼의 상태 정보를 더 정확하게 추정하기 위하여 항법 필터를 잡음 제거 필터, 지연 시간 보상 필터, 예측 필터 3개의 구조로 설계 하였으며 항법 필터의 성능을 검증하기 위해 Extrapolation 필터, g-h-k 필터, Kalman Filter 3가지 알고리즘을 적용하여 모의 시험을 통해 결과를 비교 분석하였다. 그리고 가장 성능이 좋은 알고리즘의 항법 필터를 추적 모의 환경에 적용하여 실제로 추적 성능이 개선되는지 확인하였다.

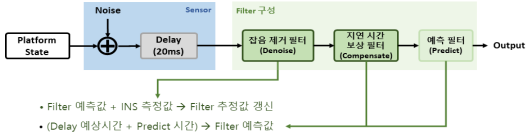

그림 1. 항법 필터 블록도
Fig. 1. Block Diagram of Navigation Filter

Ⅱ. 항법 필터 설계 및 모의 결과

1. 설계 이론

플랫폼에 탑재된 레이다의 처리장치에서는 플랫폼의 위치 및 자세정보를 각 센서의 갱신 주기에 따라 수신하게 되며, 이 때 이 센서 정보는 잡음과 통신 지연 시간을 포함하여 수신된다. 따라서 레이다의 처리장치에서는 추적에서 센서 정보를 사용하기 이전에 항법 필터를 적용하여 성능 열화 요인인 잡음과 통신 지연 시간 영향을 최소화하게 되며, 이러한 항법 필터 블록도는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1과 같이 항법 필터에서는 센서에서 측정된 플랫폼의 위치 및 자세정보에 대해 잡음의 영향을 최소화하기 위해 우선 잡음 제거를 수행하게 되며, 잡음 제거 시 센서 정보와 필터 예측값을 통해 추정치를 계산하게 된다. 다음으로 센서로부터 레이다 처리장치까지의 통신 지연 시간을 보상하기 위해 지연 시간 보상을 수행한다. 두 단계를 통하여 플랫폼의 상태 정보를 센서에서 측정된 가장 최근 데이터와 근사하게 사용하는 것이 가능하다. 하지만, 센서의 전송 주기로 인하여 플랫폼의 특정 시간대의 위치 혹은 자세 정보는 가장 최근에 측정된 센서 데이터와 달라진다. 따라서 사용하고자 하는 시간의 상태 정보로 예측하기 위해 이전에 지연 시간 보상 필터에서 얻은 결과 값을 기반으로 예측 필터를 수행하면 원하는 시간의 플랫폼의 상태 정보를 계산할 수 있다. 잡음 제거 필터, 지연 시간 보상 필터, 예측 필터 각 필터는 동일한 필터로 구현하였으며 본 절에서는 이 때 적용된 3가지 필터 알고리즘에 대해 정리하였다.

가. 필터 설계 이론

$$x_{k+1} = x_k + \frac{x_k - x_{k-1}}{t_k - t_{k-1}}(t_{k+1} - t_k) \qquad (1)$$

Extrapolation 필터는 식 (1)과 같이 현재 시간의 상태 정보 x_k와 이전 시간의 상태 정보 x_{k-1}를 기반으로 선형적으로 다음 시간의 상태 정보를 계산하는 방식이다. 2개의 정보를 이용한 등속도 (CV: Constant Velocity) 역학 방식으로 예측하는 방식이다. 계산방식이 간단하여 복잡한 기동이 없거나 예측해야 하는 시간이 짧을 때 주로 사용된다. 항법 필터에서는 위치, 자세의 값을 모두 현재 상태, 이전 상태를 기반으로 다음 시간의 자세를 계산하였다.

나. g-h-k 필터[10]

g-h-k 필터는 $\alpha\beta\gamma$ 필터와 유사하게 3차 예측자-수정자 필터이다. 이는 등가속도 (CA: Constant Acceleration) 역학을 이용하여 플랫폼에 외력이 일정

하게 작용함을 가정하여 구성된 필터이다. 등가속도 운동 역학에 따라서 예측자에서 상태변수 방정식은 식 (2) ~ (4)와 같이 정의된다. 상태변수는 위치, 속도, 가속도이다.

$$\hat{X}_{n+1|n} = \hat{X}_{n|n} + \Delta t\hat{\dot{X}}_{n|n} + \frac{\Delta t^2}{2}\hat{\ddot{X}}_{n|n} \quad (2)$$

$$\hat{\dot{X}}_{n+1|n} = \hat{\dot{X}}_{n|n} + \Delta t\hat{\ddot{X}}_{n|n} \quad (3)$$

$$\hat{\ddot{X}}_{n+1|n} = \hat{\ddot{X}}_{n|n} \quad (4)$$

예측자에서 계산된 상태 정보 예측치 $\hat{X}_{n+1|n}$는 이전 상태 정보 추정치 $\hat{X}_{n|n}$에서 계산된 값을 바탕으로 계산이 된다. 이후에 측정치를 예측치에 보정하는 수정자를 통하여 상태 정보 추정치를 갱신하게 되며 수식은 식 (5) ~ (7)과 같다.

$$\hat{X}_{n+1|n+1} = \hat{X}_{n+1|n} + g(Z_{n+1} - \hat{X}_{n+1|n}) \quad (5)$$

$$\hat{\dot{X}}_{n+1|n+1} = \hat{\dot{X}}_{n+1|n} + h(Z_{n+1} - \hat{X}_{n+1|n}) \quad (6)$$

$$\hat{\ddot{X}}_{n+1|n+1} = \hat{\ddot{X}}_{n+1|n} + k(Z_{n+1} - \hat{X}_{n+1|n}) \quad (7)$$

측정치와 예측치의 잔차를 이용하여 추정치 값을 보정하여 사용하게 되는데 이 때, 위치는 g, 1차 미분값인 속도는 h, 2차 미분값인 가속도는 k의 가중치를 사용한다. 각 가중치에 따라 필터의 추정치 및 예측치 반응성이 달라지며 각 상황에 따라 맞게 조절하여 사용하게 된다. 이 때, 필터가 발산하지 않기 위한 안정화 조건은 식 (8)과 같다.

$$g > 0,\ h > 0,\ k > 0,\ 2g + h \leqq 4,\\ 2g > k,\ g(h+k) > 2k \quad (8)$$

위의 안정화 조건을 고려하여 항법 필터의 특성에 맞게 튜닝하여 필터를 구성하였다.

다. Kalman 필터[11]

Kalman 필터는 선형 역학 모델을 기반으로 상태 변수를 추정하는 재귀 필터로 필터에서 상태변수를 갱신할 때 가중치를 역학 모델 및 측정치를 기반으로 조절하는 적응형 필터다. 이러한 Kalman 필터는 적용 특성 및 사용자의 정의에 따라 역학을 임의적으로 선정할 수 있으며 모델과 실 측정치의 차이를 기반으로 필터의 가중치를 조절하기 때문에 선형 역학 모델에 따른 모델의 경우 가장 정확하게 상태 변수를 추정할 수 있다.

항법 필터에서 Kalman 필터의 역학은 플랫폼에 다양한 원인의 외력이 작용한다는 가정을 통하여 가속도가 비규칙적으로 변화하기 때문에 가속도를 식 (9)와 같이 1차 마코프 프로세스로 모델링을 한 싱어(SINGER) 모델을 사용하였다.

$$\dot{a} = -\frac{1}{\tau}a + \frac{1}{\tau}w \quad (9)$$

가속도를 위의 식과 같이 모델링함에 따라 동역학 모델링을 수행한 결과가 식 (10) ~ (12)와 같다.

$$X_{k+1} = F_k X_k + w_k \quad (10)$$

$$X_k = [p_k v_k a_k] \quad (11)$$

$$F_k = \begin{bmatrix} I_{3\times3} & \Delta t I_{3\times3} & \tau^2(-1+\frac{\Delta t}{\tau}+e^{-\frac{\Delta t}{\tau}})I_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & I_{3\times3} & \tau(1-e^{-\frac{\Delta t}{\tau}})I_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}I_{3\times3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

동역학 모델에서 모델의 공정잡음에 따라 다음 시간에서 상태 변수는 식 (10)에 따라 동역학 방정식에 따른 결과 값에 백색 가우시안 잡음이 부가된다. 이때, 공정 잡음 분산 Q_k는 식 (13) ~ (19)와 같이 계산된다.

$$Q_k = 2\tau q^2 \begin{bmatrix} q_{11}I_{3\times3} & q_{12}I_{3\times3} & q_{13}I_{3\times3} \\ q_{12}I_{3\times3} & q_{22}I_{3\times3} & q_{23}I_{3\times3} \\ q_{13}I_{3\times3} & q_{23}I_{3\times3} & q_{33}I_{3\times3} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$q_{11} = \frac{\tau^3}{2}(\frac{2\Delta t}{\tau} + \frac{2\Delta t^3}{3\tau^3} - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}} + 1 - \frac{2\Delta t^2}{\tau^2} - \frac{4\Delta t}{\tau}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}) \quad (14)$$

$$q_{12} = \frac{\tau^2}{2}(-\frac{2\Delta t}{\tau} + \frac{\Delta t^2}{\tau^2} - 2e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} + 1 + \frac{2\Delta t}{\tau}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} + e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}) \quad (15)$$

$$q_{13} = \frac{\tau}{2}(1 - \frac{2\Delta t}{\tau}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (16)$$

$$q_{22} = \frac{\tau}{2}(\frac{2\Delta t}{\tau} + 4e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} - 3 - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (17)$$

$$q_{23} = \frac{1}{2}(2e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} + 1 + e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (18)$$

$$q_{33} = \frac{1}{2\tau}(1 - e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (19)$$

측정치 모델링은 위치 및 자세 정보에서 속도, 각속도, 가속도, 각가속도 성분 중에서 센서로부터 측정되어 들어오는 값을 고려하여 구성한다. 또한 센서의 잡음으로 인해 측정 잡음 v_k이 발생할 수 있으며 이는 측정잡음 분산 R_k를 가지는 백색 가우시안 잡음으로 부가된다.

$$z_k = H_k X_k + v_k \quad (20)$$

동역학 모델과 측정치 모델을 통하여 상태 변수의 예측치, 추정치를 식 (21) ~ (25)와 같이 계산하여 사용한다.

$$\hat{X}_{k|k-1} = F_k \hat{X}_{k-1|k-1} \quad (21)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (22)$$

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \quad (23)$$

$$\hat{X}_{k|k} = \hat{X}_{k|k-1} + K_k (z_k - H_k \hat{X}_{k|k-1}) \quad (24)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (25)$$

2. 모의 결과

앞서 살펴본 3가지 항법 필터의 성능 비교를 위하여 각 필터에 대한 모의환경을 구성하여 위치 및 자세의 결과값을 비교하였다. 이 때 적용된 모의 환경 정보는 다음 표 1과 같다.

표 1. 모의 환경 정보
Table 1. Simulation Environment

실제 갱신 주기	1,000 [Hz]
위치 갱신 주기	10 [Hz]
위치 잡음 분산	2 [m]
자세 갱신 주기	200 [Hz]
자세 잡음 분산	0.08 [deg]
플랫폼 속도	20 [m/s]
플랫폼 요동 주기	5 [sec]
플랫폼 요동 진폭	10 [deg]

표 1과 같은 모의 환경으로 플랫폼의 실제 위치 및 자세를 비교한 결과가 그림 2 ~ 5와 같다.

그림 2와 그림 3의 결과를 보았을 때, Extrapolation 필터는 오차가 평균적으로 감소하였으나 센서 잡음의 영향으로 인해 위치 오차의 값이 수렴하지 않는 현상을 확인할 수 있다. g-h-k 필터는 초기에 동역학의 부정확함으로 인하여 위치 값이 발산하는 현상이 있으며 이후에 위치 오차가 감소하긴 하지만 효과적으로 감소하지 않았다. Kalman 필터의 경우 초반에 필터 초기화로 인해 오차가 순간적으로 높은 값을 보이지만 이후에는 평균 0.56 m 오차를 보이며 위치 오차를 효과적으로 줄이는 것을 확인할 수 있다.

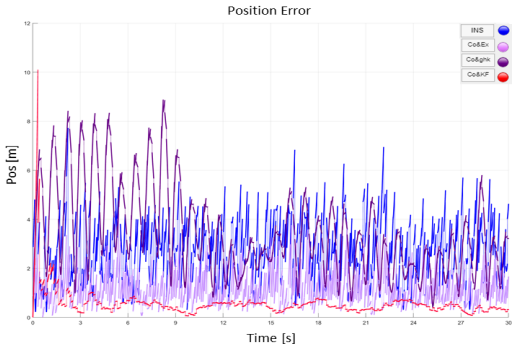

그림 2. 위치 오차 결과 그래프
Fig. 2. Position Error Graph

Mean Error		Standard Deviation		Max Error	
Comp&Kalman 20ms	0.56022	Comp&Extra 20ms	0.59666	Comp&Extra 20ms	4.1995
Comp&Extra 20ms	1.1898	Comp&Kalman 20ms	0.59813	INS 20ms	7.7146
INS 20ms	2.729	INS 20ms	1.177	Comp&g-h-k 20ms	8.8675
Comp&g-h-k 20ms	3.4791	Comp&g-h-k 20ms	1.7849	Comp&Kalman 20ms	10.0833

그림 3. 위치 오차 성능 결과
Fig. 3. Position Error Result

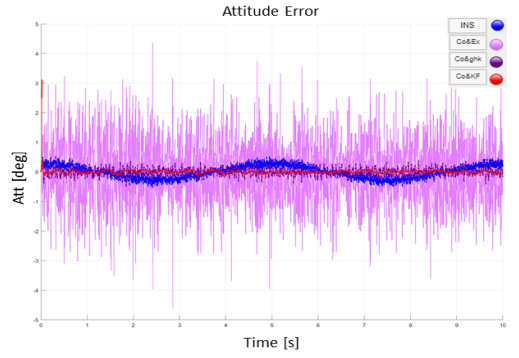

그림 4. 자세 오차 결과 그래프
Fig. 4. Attitude Error Graph

Mean Error		Standard Deviation		Max Error	
Comp&Kalman 20ms	0.026408	Comp&Kalman 20ms	0.031858	Comp&Kalman 20ms	0.092341
Comp&g-h-k 20ms	0.084512	Comp&g-h-k 20ms	0.10612	Comp&g-h-k 20ms	0.46973
INS 20ms	0.18839	INS 20ms	0.21693	INS 20ms	0.5464
Comp&Extra 20ms	0.66016	Comp&Extra 20ms	0.85398	Comp&Extra 20ms	4.5876

그림 5. 자세 오차 성능 결과
Fig. 5. Attitude Error Result

그림 4, 그림 5의 결과를 보면 Extrapolation 필터는 자세가 요동으로 인하여 변화하면서 잡음이 제거되지 않은 원인으로 인해 오히려 센서값보다 오차가 증가하는 현상을 보인다. g-h-k 필터와 Kalman 필터는 잡음을 효과적으로 감소시키고 플랫폼의 자세 정보를 센서값보다 더 정확하게 예측하였다. 이 때, 세부적으로 가속도가 가변하는 환경인 상황이기 때문에 g-h-k 필터보다 Kalman 필터가 오차의 평균값과 표준편차가 더 낮은 값으로 성능이 좋음을 확인할 수 있다. 최종적으로 3가지의 필터 중에서 그림 2 ~ 5의 결과를 분석하였을 때, Kalman 필터가 플랫폼의 위치 및 자세 정보를 예측하기 위한 항법 필터로 가장 적합함을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 항법 필터 적용 추적 성능 검증

Ⅱ장에서 검증한 필터의 알고리즘 결과에 따라 Kalman 필터로 항법 필터를 구성하고 이를 레이다 추적에서 성능을 검증하기 위하여 모의환경을 구성하여 항법 필터 적용 추적 모의 환경을 구성하였다. 모의환경의 전체적 구성도는 그림 6과 같다.

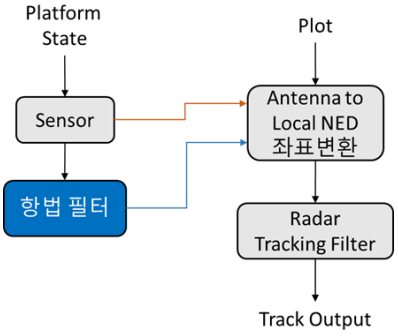

그림 6. 항법 필터 적용 추적 모의환경 블록도
Fig. 6. Block Diagram of Tracking Simulation with Navigation Filter

플랫폼의 실제 상태 값에 센서 잡음과 통신 지연 시간을 부가한 후 항법 필터 적용 유무에 따른 추적 성능 결과를 비교 확인하였다. 그림 6의 모의환경으로 항법 필터의 추적 성능 개선 효과를 확인하기 위해 시나리오는 표 2와 그림 7과 같이 구성하였다. 추적 모의환경을 수행한 결과는 그림 8 ~ 11과 같다.

표 2. 항법 필터 적용 추적 모의 환경 구성
Table 2. Environment of Tracking Simulation with Navigation Filter

실제 갱신 주기	1,000 [Hz]
위치 갱신 주기	10 [Hz]
위치 잡음 분산	3.5 [m]
자세 갱신 주기	200 [Hz]
자세 잡음 분산	1.5 [deg]
플랫폼 속도	20 [m/s]
플랫폼 요동 주기	5 [sec]
플랫폼 요동 진폭	10 [deg]

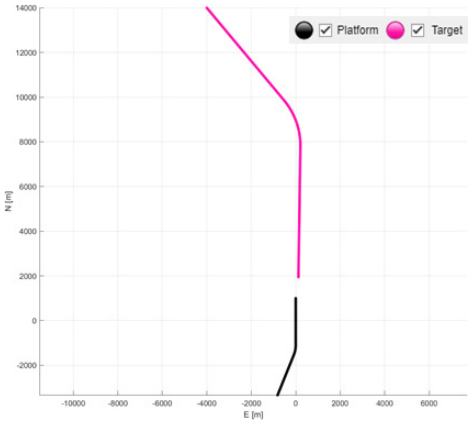

그림 7. 모의환경 내 플랫폼 및 표적 항적
Fig. 7. Simulation Trajectory of Platform & Target

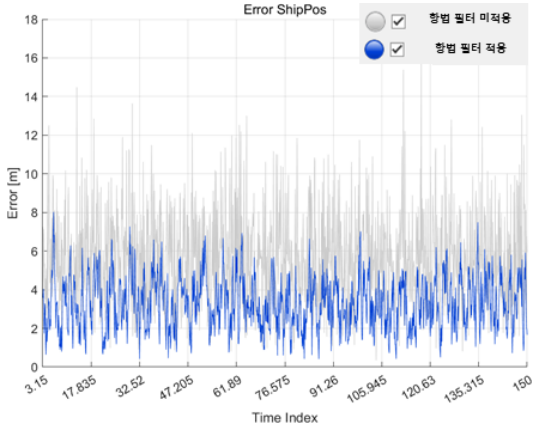

그림 8. 항법 필터 위치 오차 결과 그래프
Fig. 8. Position Error Graph of Navigation Filter

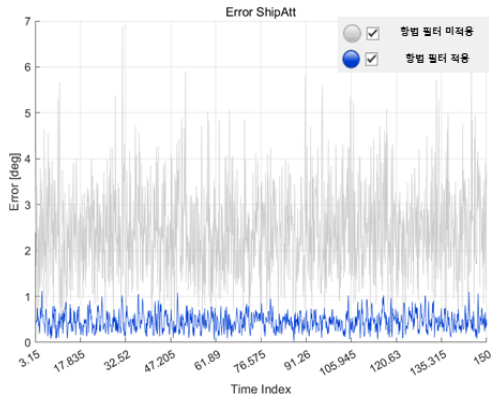

그림 9. 항법 필터 자세 오차 결과 그래프
Fig. 9. Attitude Error Graph of Navigation Filter

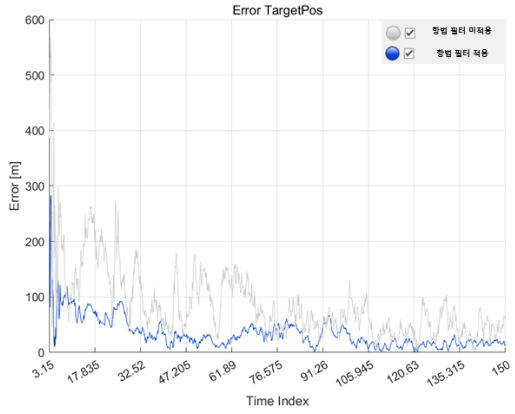

그림 10. 추적 오차 결과 그래프
Fig. 10. Tracking Error Graph

항법 필터 적용 Mean	30.8	항법필터 적용 Std	20.66
항법 필터 미적용 Mean	80.05	항법필터 미적용 Std	51.91

그림 11. 추적 오차 성능 결과
Fig. 11. Tracking Error Result

그림 8, 9에서 회색이 센서값의 데이터이며, 파란색 값이 항법 필터를 통한 상태 정보이다. 위치, 자세 정보 모두 센서값에서 항법 필터를 통과한 값이 플랫폼 실제 상태와 더 가까운 값을 나타냄을 확인할 수 있다. 개선된 상태 정보를 이용하여 표적을 추적한 결과가 그림 10과 같으며 회색이 항법 필터를 적용하지 않은 결과 값이고 파란색이 항법 필터를 적용한 결과 값이다. 그림 10에서 항법 필터를 사용한 추적 결과가 성능이 확실히 개선됨을 확인 할 수 있다. 추적 성능 결과에 대하여 그림 11에서 확인할 수 있으며, 초기 필터에 대한 오차에 대한 부분은 무시하고자 추적 시작 시점에서 2초 지난 시점부터 결과 계산을 진행하였다. 항법 필터를 적용한 결과, 본 논문에서 적용한 시나리오에서 항법 필터를 적용한 결과가 평균 약 50 m정도 오차 개선 효과가 나타남을 확인할 수 있으며 표준 편차 또한 항법 필터를 적용한 추적 오차의 표준편차가 약 30 m작아, 더 낮은 오차에서 수렴도도 높아짐을 확인할 수 있다. 이에 따라 표적과 플랫폼이 모두 기동하며 요동이 포함되어 있는 상태에서 잡음, 딜레이 및 갱신 주기로 인한 상태 정보 오차를 개선한 결과, 항법 필터를 이용한 추적 정보가 실제 표적의 위치에 훨씬 유사하게 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 실험 및 결과

본 논문에서는 기동형 플랫폼 레이다의 추적 오차를 항법 필터를 이용하여 개선할 수 있음을 검증하였다. 플랫폼의 데이터를 측정하는 센서의 잡음, 통신 지연시간, 센서 갱신 주기에 따른 오차를 개선하기 위하여 잡음 제거, 지연 시간 보상, 예측 필터 구조로 항법 필터를 구성하였다. 항법 필터의 플랫폼 상태 추정 성능을 확인하기 위해 3가지의 알고리즘을 적용 및 모의 시험을 통해 Kalman 필터로 구성한 항법 필터를 통해 더 정확하게 플랫폼의 상태를 추정할 수 있음을 확인하였다. 최종적으로 항법 필터 적용하여 추적 성능 향상 분석을 위해 모의 시험을 진행한 결과 항법 필터를 적용하지 않은 추적 결과보다 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다. 위의 항법 필터를 이용하게 되면 다양한 플랫폼에서 표적 탐지 및 추적 임무의 성능을 높일 수 있을 것으로 예상되며 나아가 이후 표적을 탐지하기 위한 빔 조향 계산에도 효과적으로 사용이 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] Wang, J., R. Dizaji, and A. M. Ponsford. "An analysis of phase array radar system on a moving platform." IEEE International Radar Conference, 2005. DOI:https://doi.org/10.1109/radar.2005.1435843

[2] Vivet, Damien, et al. "A mobile ground-based radar sensor for detection and tracking of moving objects." EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2012.1 DOI:https://doi.org/10.1186/1687-6180-2012-45

[3] da S., Andre B. C., Sushil K., and Stefan V. B., "Motion Compensation for Accurate Position Estimation of Ground Moving Targets using the Multi-Channel Airborne System DBFSAR." EUSAR 2022; 14th European Conference on Synthetic Aperture Radar. VDE, 2022.

DOI:https://elib.dlr.de/145850/

[4] Chen, Si, et al. "Target Tracking of Navigation Radar for Unmanned Surface Vehicle Based on an Improved Adaptive Kalman Filtering." 2022 41st Chinese Control Conference, IEEE, 2022.
DOI:https://doi.org/10.23919/CCC55666.2022.9902751

[5] Lee, Won-Jun. "Ground Moving Target Tracking Using TWS on Airborne AESA Radar." The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 33.8 (2022): 635-643.
DOI:https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2022.33.8.635

[6] Lee, Kwan-Hyeong, "A Study on Target Direction and Rage Estimation using Radar Single Pulse," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 14, no. 6, pp. 107-112, Dec. 2014.
DOI:http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.6.107

[7] Ko, Jae-Youl, et al. "Implementation of Airborne Multi-Function Radar Including Attitude Maneuvering." The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 28, no. 3, Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Mar. 2017.
DOI:https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2017.28.3.225

[8] Park, Sung Yeong. "Designing a signal processing method for the short-range target tracking mode of airborne radars." The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science 32.8 (2021): 734-742.
DOI:https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2021.32.8.734

[9] Park, Jung-Woo, et al. "Integrated Simulator of Airborne Multi-Function Radar Resource Manager and Environment Model." Journal of the Korean Society for Aeronautical Space Sciences, vol. 41, no. 7, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, 1 July 2013.
DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.7.577

[10] Tenne, Dirk, and Tarunraj Singh. "Optimal design of/spl alpha-beta-(gamma) filters." Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC, Vol. 6. IEEE, 2000.
DOI:https://doi.org/10.1109/ACC.2000.877043

[11] Ramachandra, K. V. Kalman filtering techniques for radar tracking. CRC Press, 2018, 1-44.
DOI:https://doi.org/10.1201/9781482273113

[11] Ramachandra, K. V. Kalman filtering techniques for radar tracking. CRC Press, 2018, 1-44.
DOI:https://doi.org/10.1201/9781482273113

[12] SungYeong Park, Jeongjik Seo, and Seong-Hee Choi. "Analysis of Signal Characteristics of Propeller/Jet Engine-based Targets in Ariborne Radar." The Journal of Korean Institute of Information Technology, 22.2 (2024): 117-127.
DOI:https://doi.org/10.14801/jkiit.2024.22.2.117

[13] Kwangmin Joo. "Task Scheduling Method with Reinforcement Learning using Double Deep Q-Network based for Multi-function Radar." Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, 24.7 (2023): 458-465.
DOI:https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.7.458

저 자 소 개

조 형 준(정회원)

- 2020년 2월 : 한국항공대학교 전자및항공전자공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과 (공학석사)
- 2022년 2월 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 (공학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 레이다연구소 연구원
- 주 관심분야 : 제어, 레이다 추적, 유도 항법, 필터 알고리즘 등

문 현 욱(정회원)

- 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : LIG 넥스원 레이다연구소 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이다 성능분석, 전파전파, 무선채널 모델링 등

안 지 훈(정회원)

- 2014년 2월 : 한양대학교 전자시스템공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 한양대학교 전자시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : LIG 넥스원 레이다연구소 선임연구원
- 주 관심분야 : 레이다 제어, 표적추적 기법 설계 및 SW 구현 등

손 성 환(정회원)

- 2004년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 인하대학교 정보통신대학 (공학석사)
- 2010년 8월 : 인하대학교 정보통신대학 (공학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 레이다연구소 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이다 신호처리, 레이다 통제, 레이다 성능분석