

항공기 고기동 상황에서 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 방안 및 시험

Postural Compensation Method and Test for Improving Target Angle Measurement Error in High-Maneuverability Aircraft Situations

강 민 정 · 서 정 직* · 원 진 주*

Min-Jung Kang · Jeong-Jik Seo* · Jin-Ju Won*

요 약

본 논문은 항공기 고기동 상황에서 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 방안을 제안하고 시험한다. 레이다는 높은 추적정확도로 표적을 추적하기 위해 항공기 자세 정보와 표적 각도 측정 오차 정보를 활용하는 기술이 우선시되어야 한다. 부정확한 자세 보상값으로 빔 조향 정보를 계산하게 되면 원하는 위치에 빔을 조향하지 못해 표적을 소실하거나 잘못된 표적 측정 정보를 획득하게 된다. 따라서 항공기 고기동 상황에서 표적 탐지 정확도를 개선하기 위해 빔 조향각 계산 시 자세 정보를 정밀하게 보상하고, 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보를 획득하는 방안을 제안한다. 시험을 통해 항공기 고기동 상황에서 기존 방안보다 제안한 방안을 적용하였을 때 표적 각도 측정 정확도를 높일 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this study, we propose and test a postural compensation method for improving the target angle measurement error in high-maneuverability aircraft situations. To track a target with high tracking accuracy, radars should prioritize technologies that utilize aircraft postural information and target angle measurement error information. If the beam-steering information is calculated with inaccurate postural compensation values, the beam cannot be steered to the desired position. Then, the target can be lost, or incorrect target measurement information can be obtained. Therefore, to improve target detection accuracy in high-maneuverability aircraft situations, we propose a method to precisely compensate for postural information when calculating the beam steering angle and to obtain target angle measurement error information at the start of beam emission. Through tests, it was confirmed that the proposed method could improve the accuracy of target angle measurement in high-maneuverability aircraft situations compared with existing methods.

Key words: Aircraft High-Maneuvering Situation, Postural Compensation, Target Angle Measurement Error, Target Detection & Tracking

「이 연구는 2024년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(UC160003FD)」
한화시스템(Hanwha System)

*국방과학기술연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received October 25, 2024 ; Revised November 18, 2024 ; Accepted December 31, 2024. (ID No. 20241025-116)

· Corresponding Author: Min-Jung Kang (e-mail: kkmj0121@hanwha.com)

I. 서 론

최근 항공 레이더의 표적 탐지 추적정확도를 높이기 위한 연구가 많이 진행되고 있다^{[1][2]}. 레이더는 표적 추적 정확도를 높이기 위해 정확한 표적 정보를 측정하는 것이 중요하다^{[3][4]}. 항공기 레이더에서 정확한 표적 정보를 측정하기 위해 항공기 기동에 따른 정확한 자세 정보와 표적 각도 측정 오차 정보를 활용하는 기술이 우선시 되어야 한다^{[5][6]}. 부정확한 자세 보상값으로 빔 조향 정보를 계산하게 되면 원하는 위치에 빔을 조향하지 못해 잘못된 표적 측정 정보를 획득하게 된다. 이는 레이더에서 부정확한 표적 측정 정보로 표적의 위치를 예측하게 되면 표적을 장시간 추적하지 못하고 표적을 소실하게 될 우려가 있다.

본 논문에서는 실제 비행 시험 중 항공기 고기동 상황에서 측정치 오류로 추적 중인 표적을 소실한 사례를 서술하고, 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 방안 그리고 시험 결과를 작성한다. 항공기 고기동 상황에서 측정치로 획득한 정보인 표적 각도 측정 오차에 영향을 주는 요소를 찾기 위해 빔 처리 시간 동안 항공기 자세 변화량과 빔 처리 시간 동안 표적 각도 측정 오차 차이값을 확인하였다. 그 결과 기동이 없는 상황에서는 항공기 자세 변화가 없어 표적 각도 측정 오차 차이값은 없었지만, 항공기 고기동 상황에서는 자세 변화량이 크게 발생

하여 빔 처리 시간 동안 표적 각도 측정 오차값의 차이가 있음을 확인하였다. 따라서, 빔 조향각 계산 시 정확한 자세 정보를 활용하고 빔 조향 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보를 획득하여야 표적 각도 측정치가 개선되어 추적정확도를 높일 수 있음을 시험 결과로 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실제 비행 시험 중 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 현상의 데이터 분석 결과를 서술하고, III장에서는 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 제안 방안을 작성한다. 그리고 IV장에서는 기존 대비 제안 방안 결과를 확인하기 위한 시험 시나리오 및 시험 결과를 작성하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 현상

본 논문은 X-band 주파수 대역 레이더 비행 시험 중 항공기 고기동 상황에서 표적 추적을 유지하지 못하고 표적을 소실한 현상을 개선하기 위해 연구되었다. 그림 1은 항공기 고기동 상황에서 추적 중인 표적을 소실한 시점의 시험 데이터를 분석한 결과이다. 분석 결과 항공기 자세 변화가 초당 약 $\pm 70^\circ$ Roll 기동 구간에서 정상적인 추적을 수행하지 못하였다. Roll Rate $+70^\circ$ 구간에서는 표적을 탐지하였으나, 기존 추적 표적과 다른 표적으로 측정되어 연관 실패 현상이 발생하였고, Roll Rate -70° 도

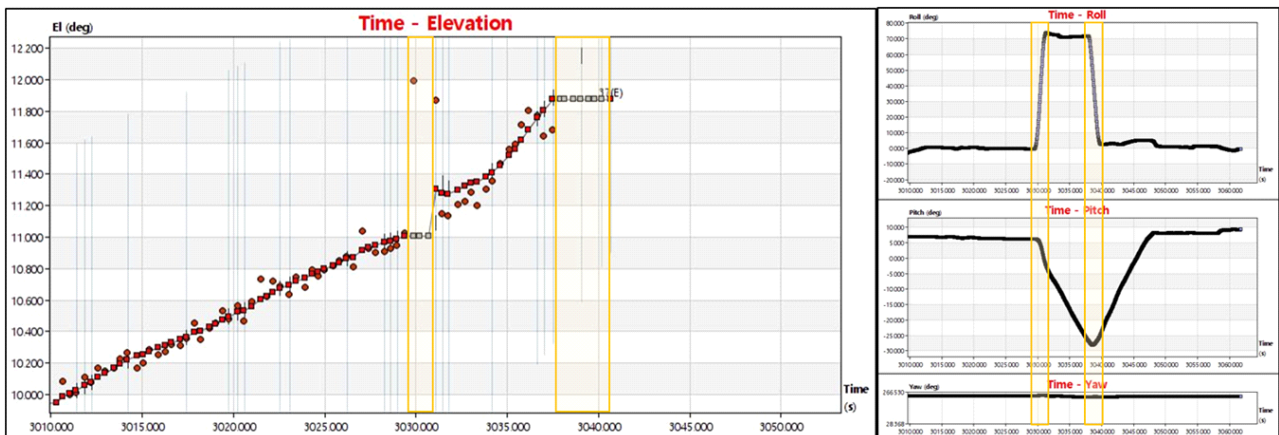


그림 1. 비행 시험 중 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 현상 시험 데이터

Fig. 1. Test data on target lose case in aircraft high maneuverability situations during flight tests.

구간에서는 일정 시간 동안 표적 미탐지로 추적 중인 표적을 유지하지 못하고 표적을 소실한 것으로 확인되었다. 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 원인 분석 결과 항공기 자세 정보 오류로 인한 예측 빔 오차가 발생하였다. 즉, 실제 빔 조향 위치와 예측 빔 조향 위치 차이로 인해 표적 측정치 오차가 발생하였고, 이로 인해 잘못 측정된 표적 위치에 다음 빔을 방사하여 표적 미탐지로 표적 추적을 유지하지 못하고 추적 중인 표적을 소실하였다. 이 현상을 개선하기 위해 항공기 고기동 상황에서도 높은 추적정확도로 표적 추적을 유지하기 위한 개선 방안을 본 논문의 III장에 작성한다.

III. 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 방안

본 논문의 III장 1절에서는 표적 탐지 추적을 위한 항공기 자세 정보 활용, 2절에서는 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 사례 분석 그리고 3절에서는 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 없이 표적 추적을 유지하기 위한 개선 방안을 작성한다.

3-1 표적 탐지 추적을 위한 항공기 자세 정보 활용

레이다는 표적을 탐지하고 추적하기 위해 항공기 자세 정보를 활용하여 빔 조향각을 계산하고 계산된 위치에 빔을 방사한다. 방사된 빔 처리 결과로 레이다는 표적 각도 측정 오차 정보를 획득하고 방사된 빔 조향각에 표적 각도 측정 오차 정보를 반영하여 최종적으로 표적 각도 측정치를 구한다. 본 논문에서 정의하는 표적 각도 측정 오차란 빔 조향각 대비 표적 위치 차이를 의미하며, 안테나 기준 방위각 방향의 빔 조향각 대비 표적 위치 차이를 ΔU , 그리고 고각 방향의 빔 조향각 대비 표적 위치 차이를 ΔV 로 그림 2와 같다. 항공기 자세에 따라 안테나 기준의 빔 조향각을 계산하기 위해 레이다는 항법 장치로부터 일정 주기로 수신하는 항공기 자세 정보를 사용하며, 특정 시간의 자세 정보를 구하기 위해 외삽법(extrapolation)을 사용한다. 그림 3과 같이 레이다는 가장 최근 수신한 항공기 자세 정보를 항법 정보 수신 시간과 추적 빔 방사 시간 차이만큼 보상하여 빔 조향각을 계산

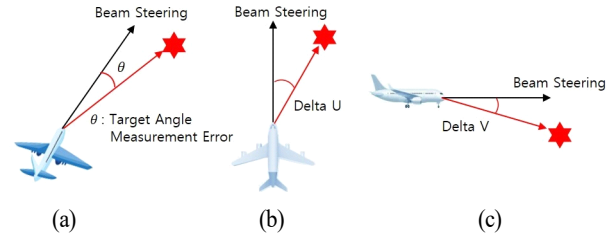


그림 2. (a) 표적 각도 측정 오차 (b) ΔU (c) ΔV
Fig. 2. (a) Target angle measurement error (b) ΔU (c) ΔV .

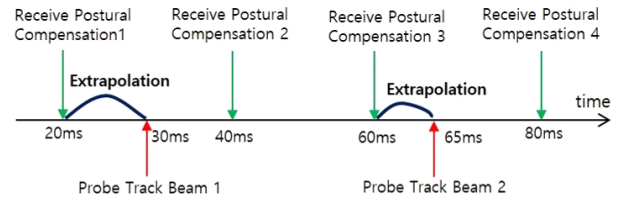


그림 3. 빔 조향각 계산을 위한 자세 정보 보상 방안
Fig. 3. Postural information compensation method for beam steering angle calculation.

한다.

레이다는 예측된 빔 조향 위치에 빔을 방사한 후 빔 처리 결과로 표적 각도 측정 오차 정보를 획득한다. 표적 각도 측정 오차 정보는 신호처리 결과로 그림 4와 같이 빔 처리 시간 동안의 중간 시점(평균치)의 ΔU , ΔV 정보이다.

3-2 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 사례 분석

본 논문은 항공기 레이더 비행 시험 중 표적 소실 현상을 개선하기 위해 연구되었고, 표적 소실 현상 원인 분석 결과 항공기 고기동 상황에서 잘못된 빔 조향각 예측 및 부정확한 표적 각도 측정 오차 사용으로 인한 표적 각도

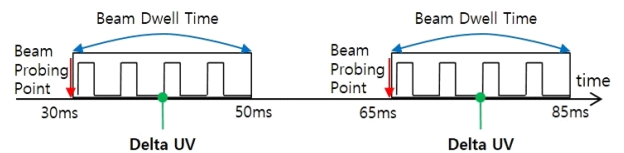


그림 4. 빔 처리 결과로 획득한 빔 중간 시점의 ΔU , ΔV
Fig. 4. ΔU , ΔV at the midpoint of the beam processing result.

측정치 오류가 발생하였다. 항공기 기동이 없을 때는 크게 문제가 되지 않았지만, 항공기 고기동 상황에서는 빔 처리 시간 동안 항공기 자세 변화량이 크게 발생하여 그림 5(d)와 같은 현상이 발생하였다. 그림 5(a)와 같이 레이더는 항공기 자세를 반영한 빔 조향각을 예측하고 예측된 위치에 빔을 조향한 후 획득된 표적 각도 측정 오차 정보(θ)를 사용해 표적의 각도 측정치 정보를 획득하려고 하였으나, 항공기 자세 변화량이 예측한 값보다 커서 그림 5(b)와 같이 예측한 빔 조향 위치와 다른 위치에 실제 빔을 조향하여 표적 각도 측정 오차 정보(Φ)를 획득하였다. 그림 5(c)와 같이 레이더는 실제 빔 조향 위치가 아닌 예측 빔 조향 위치에 획득한 표적 각도 측정 오차 정보(Φ)를 반영하여 표적의 최종 각도 측정치를 계산한다. 이로 인해 그림 5(d)에서 보는 것과 같이 이상적인 표적 측정치 위치는 예측 빔 조향각에 θ 정보를 반영한 값이지만, 항공기 자세 변화량이 예측한 것보다 크게 발생하여 실제 측정된 표적 위치는 예측 빔 조향각에 Φ 정보를 반영한 값으로 측정되었다. 이렇게 잘못 측정된 표적 정

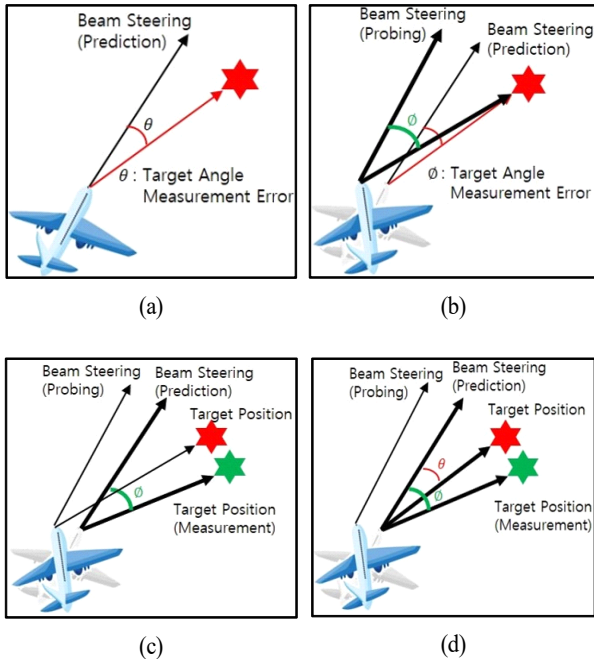


그림 5. 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 사례 분석
Fig. 5. Analysis of target lose case in aircraft high maneuverability situations.

보는 다음 추적 빔 조향각에 영향을 주어 표적을 탐지하지 못해 추적 중인 표적을 소실할 가능성이 있다. 따라서, 항공기 고기동 상황에서는 빔 조향각 계산 시 항공기 예측 자세를 정밀하게 보상하도록 개선하고, 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보를 획득하여 표적 측정치를 계산하여야 한다.

3.3 표적 각도 측정 오차 개선 방안

본 절에서는 항공기 고기동 상황에서 표적 각도 측정 오차를 개선하기 위해 빔 조향각 계산 시 정밀한 항공기 자세 보상 방안 및 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보 획득 방안을 제안한다.

레이더는 항법 장치로부터 일정 주기로 갱신되는 자세 정보를 사용하여 빔 방사 시점의 항공기 자세 정보를 예측한다. 그림 6과 같이 기존에는 최근 수신한 항공기 자세 정보를 빔 방사 시점과 항공기 자세 정보 수신 시간을 이용하여 항공기 자세 정보를 보상하였다. 그러나 항공기 고기동 상황에서 자세 변화량이 급증하는 현상을 고려하여 최근 수신한 항공기 자세 정보를 빔 방사 시점과 자세 정보 측정 시간을 이용해 빔 방사 시점의 항공기 자세 정보를 정밀하게 보상하여 빔 조향각을 예측하도록 개선하였다. 개선 방안을 적용한 개선 결과를 확인하기 위해 항공기 기동이 없는 상황과 항공기 고기동 상황에서 기존 방안 대비 개선 방안의 항공기 자세 정보 보상 결과를 비

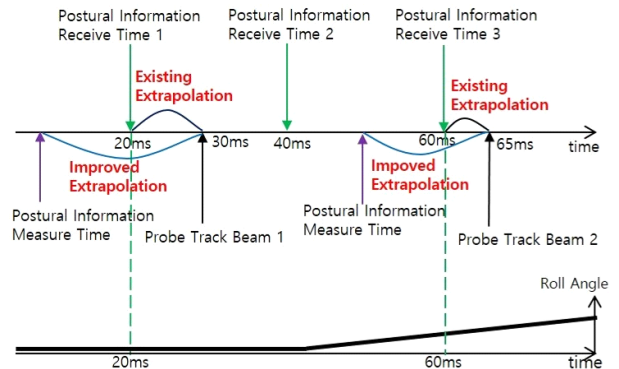


그림 6. 빔 조향각 계산 시 자세 정보 보상 제안 방안
Fig. 6. Proposed method for aircraft postural information compensation when calculating beam steering angle.

교하였다. 시험 결과는 본 논문의 IV장에 작성한다.

레이더는 빔을 방사한 후, 빔 처리 결과로 표적 각도 측정 오차 정보를 획득한다. 기존에는 신호처리 결과로 획득된 빔 처리 중간 시점(평균치)의 표적 각도 측정 오차값을 사용하여 표적 측정치를 구하였다. 그러나 항공기 고기동 상황에서는 자세 변화가 크게 발생함에 따라 그림 7과 같이 빔 처리 시간 동안 빔 조향 각도가 달라 빔 처리 중간 시점과 빔 처리 시작 시점에서 획득한 표적 각도 측정 오차값의 차이가 있다. 빔 방사 시작 시점으로 표적의 정보를 업데이트하고 표적을 예측하는 시스템에서는 빔 처리 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 그림 8과 같이 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보를 제공하여 표적 측정치를 계산하도록 개선하였다.

빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보 ΔUV_{start} 는 신호처리 결과로 측정된 빔 중간 시점의 표적 각도 측정 오차 정보 ΔUV_{mid} 값에 ΔUV 값을 보상하여

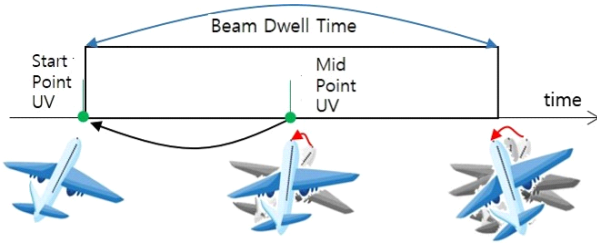


그림 7. 빔 처리 시간 동안의 항공기 자세 변화
Fig. 7. Aircraft postural change during beam Processing time.

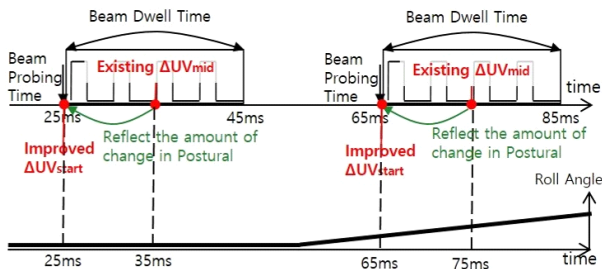


그림 8. 빔 처리 결과 표적 각도 측정 오차 획득 제안 방안
Fig. 8. Proposed method for obtaining target angle measurement error.

획득한 정보이며, 식 (1)과 같다.

ΔUV 는 그림 9와 같이 UV 도메인의 동일 표적 위치에 대한 빔 조향 시작 시점과 중간 시점의 항공기 자세 변화량이다. ΔUV 는 추적 중인 표적 위치에 대해 빔 처리 시작 시점의 항공기 자세를 반영한 UV_{start} 와 동일 표적 위치에 대해 빔 조향 중간 시점의 항공기 자세를 반영한 UV_{mid} 의 차이값이며, 식 (2)와 같다.

$$\Delta UV_{start} = \Delta UV_{mid} - \Delta UV \quad (1)$$

$$\Delta UV = UV_{mid} - UV_{start} \quad (2)$$

개선 방안을 적용한 개선 결과를 확인하기 위해 항공기 기동이 없는 상황과 항공기 고기동 상황에서 기존 방안 대비 개선 방안의 항공기 자세 정보 보상 및 표적 각도 측정 오차 획득 정보를 비교하였다. 시험 결과는 본 논문의 IV장에 작성한다.

IV. 시험 시나리오 및 시험 결과

본 논문의 4장 1절에서는 제안한 개선 방안을 적용하여 시험한 시험 시나리오를 서술하고, 2절에서는 시험 결과를 작성한다.

4.1 시험 시나리오 구성

항공기/표적 시나리오는 그림 10과 같다. 시험 시나리오 오는 안테나 패턴 정보가 반영되었으며, 표적은 항공기 기준으로 방위각 약 +10도에 위치하며 진북 방향에서 다가온다. 항공기와 표적은 동일 고도에 위치하고, 항공기 속도는 100 m/s이며 표적 속도는 150 m/s로 상대 속도는 점차 줄어든다. 표적의 기동은 없으며, 항공기 기동은 고

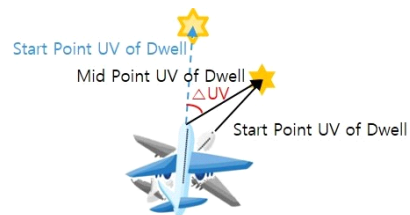


그림 9. 동일 표적 위치에 대한 항공기 자세 변화량
Fig. 9. Aircraft postural change for the same target location.

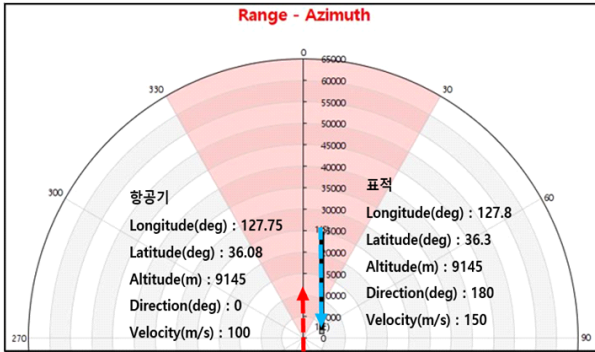
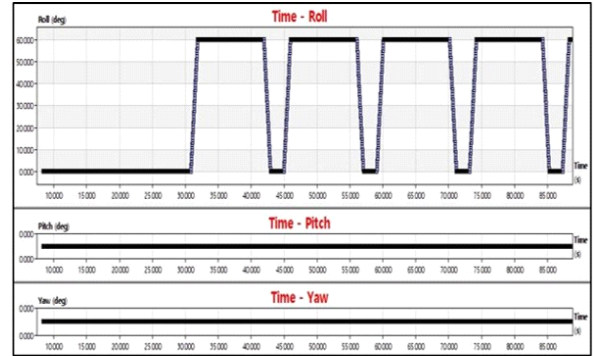


그림 10. 항공기/표적 시험 시나리오
Fig. 10. Aircraft/target test scenario.

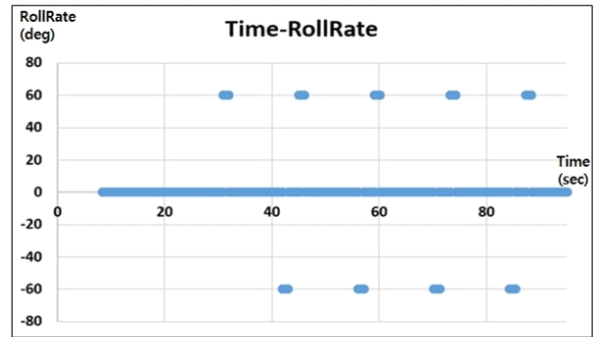
기동 상황을 모의하기 위해 초당 60도로 시나리오를 구성하였다. 항공기 고기동 상황 모의 시나리오는 특정 시나리오를 반복하도록 구현하였으며, 그림 11과 같다. 그림 11(a)의 x축은 시험 시나리오 경과 시간을 의미하고, y축은 항공기 자세의 Roll, Pitch, Yaw 값을 의미한다. 그리고 그림 11(b)의 x축은 시험 시나리오 경과 시간을 의미하고, y축은 항공기 Roll 자세 변화율을 의미한다. 시나리오 시작 시 항공기 자세 모의는 Roll Angle 0도, Roll Rate 0으로 유지하고, 레이더가 표적을 탐지하고 표적 추적 개시 1초 후부터 약 20 ms 주기로 Roll Angle을 1.2도씩 증가시키며 Roll Rate +60도로 1초간 유지한다. 그리고 Roll Angle 60도, Roll Rate 0으로 항공기 자세를 10초간 유지하며 표적을 추적한다. 이후, 약 20 ms 주기로 항공기 자세를 Roll Angle 1.2도씩 감소시키며 Roll Rate -60도로 1초간 유지하여 표적을 추적한다. 마지막으로 Roll Angle 0도, Roll Rate 0으로 1초간 항공기 자세를 유지한다. 이를 한 사이클로 항공기 고기동 상황 시나리오를 반복하도록 구성하였다.

4.2 시험 결과

본 논문의 III장 3절에서는 항공기 고기동 상황에서 빔 조향각 계산 시 정밀한 항공기 자세 보상 방안을 제안하였다. 제안한 방안의 개선 결과를 확인하기 위해 항공기 자세 정보 수신 시간을 이용한 기존 방안과 항공기 자세 정보 측정 시간을 이용한 개선 방안을 적용하여 시험한 결과를 비교하였다. 시험 시나리오는 항공기 자세 정보



(a) 항공기 자세 정보
(a) Aircraft postural information



(b) 항공기 Roll 기동 변화율
(b) Aircraft roll rate

그림 11. 항공기 고기동 상황 시나리오
Fig. 11. Aircraft high maneuverability scenario.

수신 시간은 빔 방사 시점의 2 ms 이전으로 가정하였고, 빔 방사 시점 대비 자세 측정 시간 차이는 점차 증가시키도록 그림 12와 같이 구성하였다.

시나리오 시험 결과는 그림 13과 같다. 그림 13의 x축은 빔 방사 시점과 항공기 자세 측정 시간 차이값을 의미하고, y축은 항공기 자세 Roll 보상 결과이다. 초당 60도

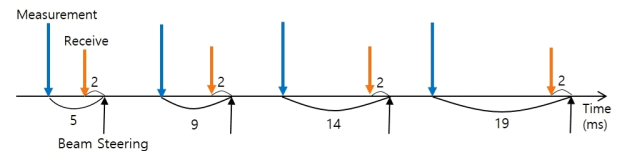


그림 12. 항공기 고기동 상황의 자세 보상 시험 시나리오
Fig. 12. Scenario of postural compensation test in aircraft high maneuverability.

변화하는 항공기 고기동 상황에서 빔 방사 시점과 항공기 자세 측정 시간이 약 5 ms 차이의 경우에는 항공기 자세 보상 차이값이 약 0.2도 정도 발생하였고, 빔 방사 시점과 항공기 자세 측정 시간 차이가 약 19 ms인 경우에는 항공기 자세 보상 차이값이 약 1도 이상 발생하였다. 즉, 항공기 고기동 상황에서 수신 시간으로 보상한 자세 정보 대비 측정 시간으로 보상한 자세 정보값 차이가 약 1도 정도 발생하였고, Roll Rate값이 더 큰 항공기 고기동 상황에서의 결과는 더 커질 것으로 예상된다. 약 1도 정도의 오차를 갖는 상황에서 빔 조향각을 계산하게 되면 표적을 미탐지하거나, 기존 추적 표적과 연관 실패로 추적 중인 표적을 소실할 가능성이 있다. 그림 14의 x축은 빔 방사 시점과 항공기 자세 측정 시간 차이값을 의미하고, y축은 항공기 자세 측정 시간 기준으로 자세 보상값과 항공기 자세 수신 시간 기준으로 자세 보상값의 차이를 의미한다. 그림 14와 같이 항공기 기동이 없을 때는 수신 시간 및 측정 시간을 사용한 자세 보상 결과에 차이가 없으나, 항공기 고기동 상황에서는 제안한 방안의 정밀한 항공기 자세 보상 정보를 활용하여 빔 조향각을 계산할 필요가 있음을 시험을 통해 확인하였다.

또한, 본 논문의 III장 3절에서는 항공기 고기동 상황에서 자세 정보를 활용한 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보 획득 방안을 제안하였다. 제안한 방안의 개선 결과를 확인하기 위해 기존 방안의 빔 처리 중간 시

점의 표적 각도 측정 오차값과 개선 방안의 빔 처리 시작 시점의 표적 각도 측정 오차값을 비교하였다. 시험 결과는 그림 15와 같다. 그림 15(a) 및 그림 15(b)의 x축은 시험 시나리오 경과 시간을 의미하고, 그림 15(a)의 y축은 빔 중간 시점과 시작 시점의 표적 방위각 방향의 각도 측정 오차 차이값이고, 그림 15(b)의 y축은 빔 중간 시점과 시작 시점의 표적 고각 방향의 각도 측정 오차 차이값을 의미한다. 시험 확인 결과 항공기 기동이 없을 때는 그림 15와 같이 빔 처리 시간 동안 표적 각도 측정 오차값의 차이는 없었지만, 초당 60도로 변하는 항공기 고기동 구간에서는 빔 처리 중간 시점 대비 시작 시점 간의 표적 각도 측정 오차값 차이가 약 0.1도 이상 발생하였다. 시나리오를 수행하는 동안 빔 중간 시점과 시작 시점의 항공기 자세 변화 차이는 그림 16과 같다. 그림 16의 x축은 시나리오 경과 시간을 의미하고, y축은 빔 중간 시점과 시작 시점의 항공기 자세 변화 차이값을 의미한다. 항공기 자세는 항공기 고기동 구간에서 그림 16과 같이 빔 처리 중간 시점 대비 시작 시점 간에 약 0.2도~0.3도 차이가 발생하였다. 항공기 고기동 상황에서는 제안한 방안의 빔 방사 시작 시점의 표적 각도 측정 오차로 표적 각도 정보를 측정할 필요가 있음을 시험을 통해 확인하였다. 그림 17과 같이 본 논문의 III장 3절에서 제안한 개선 방안을 IV장 1절에 소개한 항공기 고기동 상황 시험 시나리오에서 시험한 결과 표적 소실 없이 정상적으로 추적하였다.

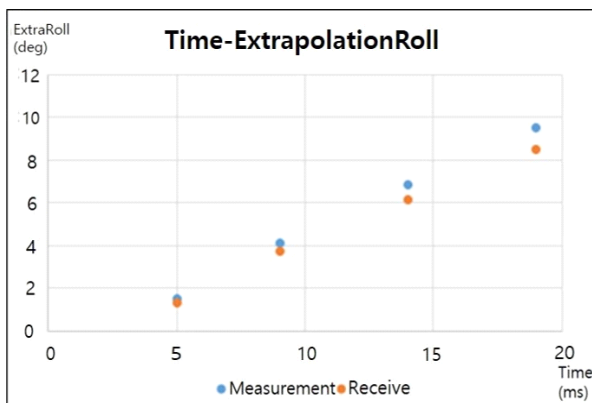


그림 13. 항공기 고기동 상황의 자세 보상 시험 결과
Fig. 13. Result of postural compensation test in aircraft high maneuverability.

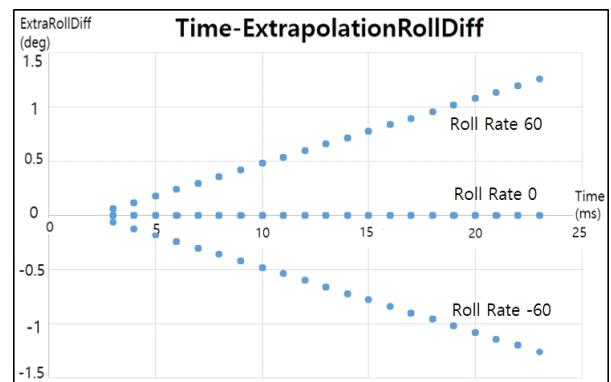
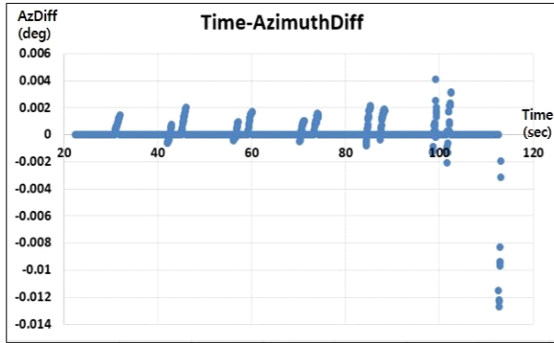
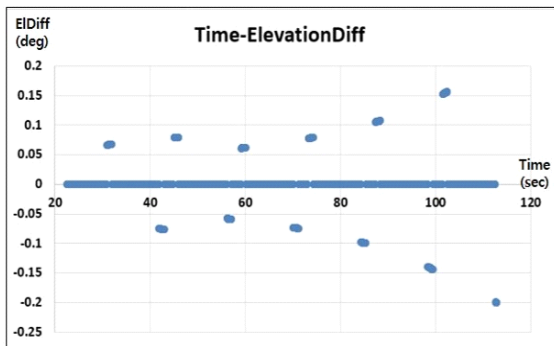


그림 14. 측정 시간과 수신 시간을 사용한 자세 보상값 차이
Fig. 14. Difference in postural compensation value using measurement time and received time.



(a)



(b)

그림 15. 빔 중간과 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 차이

Fig. 15. Difference in target angle measurement error between the middle and start of the beam.

본 논문에서 구성한 시험 시나리오는 항공기 기준 다가오는 표적으로 거리 정보는 점차 줄어들었고, 표적 속도는 150 m/s이며 항공기 속도는 10 m/s로 상대 속도는 점차 줄어들었음을 그림 17과 같이 확인하였다. 그리고 항공기 기준 방위각 +10도 위치에서 다가오는 표적과 항공기 거리가 가까워 짐에 따라 방위각값이 점점 커진 것을 그림 17과 같이 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 항공기 고기동 상황에서 표적 각도 측정 오차 개선을 위한 자세 보상 방안을 제안하고, 시험 시나리오 및 시험 결과를 작성하였다. 본 논문은 비행 시험 중 항공기 고기동 상황에서 추적 중인 표적을 소실하는 현상을 개선하기 위해 연구되었고, 항공기 고기동 상황에

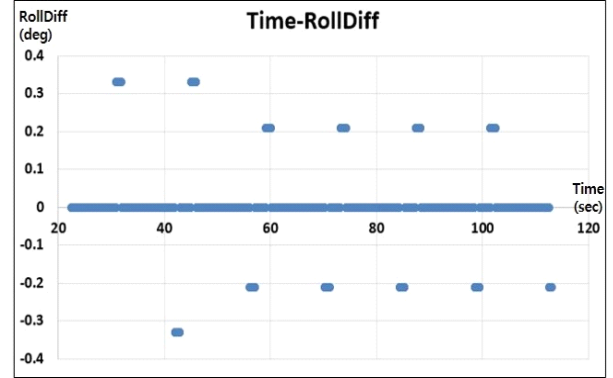


그림 16. 빔 중간과 시작 시점의 항공기 자세 변화 차이
Fig. 16. Difference in aircraft postural change between the middle and start of the beam.

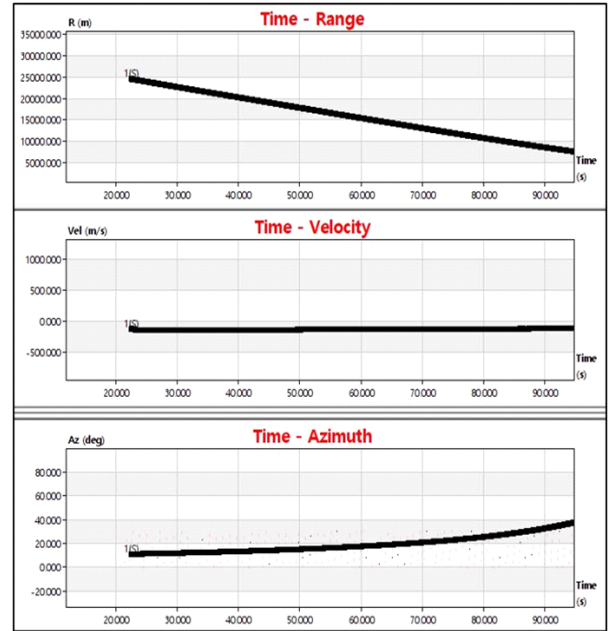


그림 17. 항공기 고기동 상황에서 표적 추적 시험 결과
Fig. 17. Result of target tracking test in aircraft high mobility situations.

서 정상적인 표적 추적 유지를 목표로 하였다. 항공기 고기동 상황에서 추적 중인 표적을 소실한 원인을 분석한 결과, 빔 조향각 예측 오류로 인해 표적을 미탐지하였거나 기존 추적 표적과 다른 표적으로 판단하여 연관 실패하였다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 빔 조향각 예측 시 정밀한 항공기 자세 보상 방안과 항공기 자세 변화

량 정보를 활용하여 빔 조향 시작 시점의 표적 각도 측정 오차 정보 획득 방안을 제안하였다. 제안 방안을 확인하기 위한 시험 시나리오로 항공기 기준 동일 고도에서 다가오는 표적을 모의하였고, 항공기 고기동 상황을 모의하기 위해 항공기 기동은 초당 Roll ± 60 도로 구현하여 시험하였다. 항공기 고기동 상황에서 빔 방사 시점의 정밀한 자세 보상 제안 방안 시험 결과 기존 방안 대비 약 1도(17 mrad) 개선된 것을 확인하였고, 빔 처리 결과로 획득한 빔 중간 시점의 표적 각도 측정 오차 개선 제안 방안 시험 결과 기존 방안 대비 약 0.1도(1.7 mrad) 개선된 것을 확인하였다. 제안한 방안을 적용해 표적 각도 측정 오차가 개선되었고, 표적 추적정확도가 높아짐에 따라 항공기 고기동 상황에서 표적 소실 없이 정상적으로 표적 추적이 유지됨을 확인하였다. 향후 무인기 적용에 대한 검토를 수행한다.

References

- [1] B. Y. Jung, D. Ham, and W. S. Ra, "Sequential coordinates conversion and decoupled linear tracking for airborne AESA radars," in *2020 59th IEEE Conference on Decision and Control(CDC)*, Jeju, Dec. 2020, pp. 2955-2960.
- [2] S. Jia, Y. Zhang, and G. Wang, "Highly maneuvering target tracking using multi-parameter fusion singer model," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 841-850, Oct. 2017.
- [3] M. Z. Ikram, A. Ahmad, and D. Wang, "High-accuracy distance measurement using millimeter-wave radar," in *2018 IEEE Radar Conference(RadarConf18)*, Oklahoma, OK, Apr. 2018, pp. 1296-1300.
- [4] K. A. Lukin, P. L. Vyplavin, V. P. Palamarchuk, V. V. Kudriashov, K. Kulpa, and Z. Gajo, et al., "Accuracy of phase measurements in noise radar," in *2014 15th International Radar Symposium(IRS)*, Gdansk, Jun. 2014, pp. 1-4.
- [5] M. J. Kang, J. J. Seo, and J. J. Won, "Postural compensation method for improving target angle measurement error in high-maneuvering aircraft situations," *2024 The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science(KIEES) Summer Conference*, vol. 12, no. 1, pp. 83, Aug. 2024.
- [6] P. Stockel, P. Wallrath, N. Pohl, and R. Herschel, "High accuracy position calculation of a hovering UAV using a rotating radar," in *2022 19th European Radar Conference(EuRAD)*, Milan, Sep. 2022, pp. 129-132.

강 민 정 [한화시스템/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0007-5256-7593>



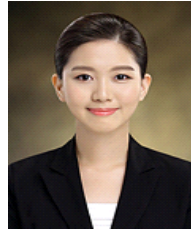
2015년 2월: 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2017년 4월~현재: 한화시스템 선임연구원

[주 관심분야] AESA 레이더, 표적 탐지&추적, 소프트웨어 설계 등

원 진 주 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7733-2474>



2015년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

2017년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)

2017년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 항공기레이더 시스템, AESA 레이더, 공대공 모드 등

서 정 직 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2907-085X>



2013년 8월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

2015년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 (공학석사)

2016년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 능동위상배열레이더, 추적

필터 등