

레이다 탐색 데이터 누적 분석을 통한 오탐 신호 억제 방법

False Alarm Suppression via Accumulated Analysis of Radar Surveillance Data

김석화 · 김연일 · 임재혁* · 정대교*

Seok-Hwa Kim · Yeon-Il Kim · Jae-Hyuk Lim* · Dae-Kyo Jeong*

요 약

레이다의 탐색 간 수집되는 오탐 표적 신호는 레이다의 운용 관점에서 한정된 레이다의 자원을 낭비할 수 있다. 특히 지형 혹은 바다와 같은 클러터에서 발생하는 많은 수의 오탐 신호는 레이다가 목표로 하는 주요 표적에 대한 신규 탐지나, 추적할 수 없는 문제를 초래할 수 있으며, 무기체계 전체에 영향을 미칠 수 있다. 특히 실시간으로 많은 수의 표적을 탐지 및 추적 처리를 수행해야 하는 레이다라면 더욱 크게 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 레이다의 탐색 간 수집되는 표적 신호 데이터의 누적 분석을 통해 오탐 신호를 억제하는 방법을 제안한다. 레이다는 일정한 영역에 대해 지속적인 탐색을 수행한다. 이때 각각의 탐색빔의 정보를 이용하여 모든 표적 신호를 누적한다. 이후 다음 번 탐색에서 발생한 표적 신호를 비교하여 오탐 신호를 억제하였다. 이를 기반으로 실제 레이다 운용 상황에서 발생하는 표적 신호 분석을 통해 제안한 방법에 대해 검증하였다.

Abstract

False target detections during radar surveillance can waste limited radar resources and degrade detection and tracking performance, particularly in cluttered environments such as terrain or sea surfaces. This issue becomes more critical for radars that are required to process a large number of targets in real time. In this study, a false target suppression method based on the accumulated analysis of target signal data collected during radar surveillance is proposed. Target signals detected by successive search beams were accumulated and compared with newly detected signals to suppress false detections. The effectiveness of the proposed method was validated using the target signal data collected under actual radar operational conditions.

Key words: False Alarm, Surveillance

I. 서 론

레이다는 일정한 영역을 지속적으로 탐색하며 해당 영역에서 수신되는 표적 신호를 기반으로 추적 수행하는

장비이다. 탐색 중 수신된 표적 신호는 검증 과정을 거쳐 추적 단계로 전환되게 된다. 탐색 간 지형이나 해수면에서 생성되는 신규 표적 신호는 강하고 지속적인 신호로 레이다의 자원을 소모하게 만들며, 신규 표적 탐지 지연이나

「본 논문은 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(UC250013SD).」
한화시스템(Hanwha Systems)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received January 24, 2026 ; Revised February 6, 2026 ; Accepted March 10, 2026. (ID No. 20260124-002)

· Corresponding Author: Seok-Hwa Kim (e-mail: oysterkim@hanwha.com)

추적 중인 표적에 대한 추적 소실 등 문제를 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근 추적 정확도 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 참고문헌 [1]은 다중 표적의 입사각을 정확히 추정하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, 참고문헌 [2]는 폭우 클러터 표적 신호 제거 알고리즘을 제안했으며, 참고문헌 [3]은 탐색빔의 연관 관계를 형성하여 오탐 신호를 제거하는 알고리즘을 제안하였다.

이러한 기법들은 정상 표적의 추적 정확도 향상 및 오탐 신호를 제거할 수 있으나, 실시간 운용에 적용하기 어렵거나, 오탐 식별에 대한 정확도가 떨어질 수 있다. 이에 본 논문에서는 탐색 과정에서 수신된 표적 신호를 누적하여 오탐 발생을 억제하는 방안을 제안한다. 탐색빔 각각에서 수신되는 표적 신호를 누적하고, 이전에 발생한 신호와 비교하여 오탐 표적 신호를 억제하였다. 또한 실제 운용 상황에서 생성된 신규 표적의 개수를 바탕으로 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였다.

II. 오탐 신호 억제 알고리즘

그림 1은 제안하는 오탐 신호 억제 알고리즘의 블록 다이어그램을 나타낸다. 생성된 빔그리드의 전체 탐색 빔 목록을 순회하며 수신한 표적 신호가 기존에 존재하는 표적일 때 조건 비교를 통해 표적 신호를 제거하거나 혹은 신규 표적으로 생성하도록 한다.

제안하는 오탐 신호 억제 알고리즘은 그림 1과 같이 동작한다. 그림 2에서 Min_{Az} , Max_{Az} , Min_{El} , Max_{El} , BW_{Az} , BW_{El} 은 탐색 영역 설정을 위한 방위각(AZ), 고각(EL), 빔 폭(BW)에 대한 설정값이며, $Z(k)$ 는 k번째 탐색데이터 세트이다. 또한 T_{Acc} 는 오탐 신호로 판단하기 위한 임계치를 나타내며 D_{nSupp} 및 D_{Supp} 는 알고리즘을 수행한 후 생성된 표적과 제거된 표적들의 세트이다. G 는 탐색 영역에 대한 설정 값으로 생성된 빔그리드를 의미하며, C 는 탐색빔 개수를 의미한다. H 는 탐색데이터 누적을 위한 변수이며 D_k 는 k번째 탐색에서 생성된 표적 데이터 세트를 의미한다. 먼저 레이다는 탐색 영역 설정을 위한 설정값을 기반으로 빔그리드를 생성하고 탐색데이터 누적을 위한 변수를 초기화한다. 이후 최대 K 번 탐색을 수행하며 각각 탐색마다 표적 신호를 누적한다. 누적된 표

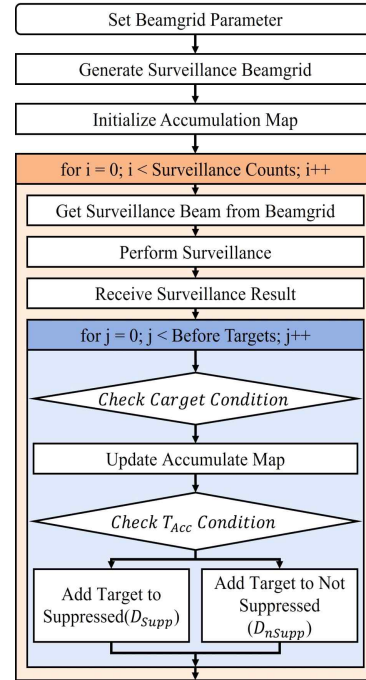


그림 1. 오탐 억제 알고리즘 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of alarm suppression.

Algorithm 1 False Alarm Suppression based on Surveillance

Input :
 Azimuth parameters Min_{Az}, Max_{Az}
 Elevation parameters Min_{el}, Max_{el}
 Beam parameters BW_{Az}, BW_{ez}
 Radar surveillance data $Z(k)$ for $k = 1 \dots K$ scans
 Accumulation count T_{Acc}
Output :
 Newly detection set D_{Supp}
 Suppressed detection set D_{nSupp}
Procedure :
 1: $G, C \leftarrow \text{GenerateBeamgrid}(Min_{Az}, Max_{Az}, Min_{el}, Max_{el})$
 2: BW_{Az}, BW_{ez}
 3: $H \leftarrow \text{InitializeAccumulationMap}(C)$
 4: **for** $k = 1$ **to** K **do**
 5: $D_k \leftarrow \text{PerformSurveillance}(Z(k), G)$
 6: $H \leftarrow \text{UpdateAccumulationMap}(H, D_k)$
 7: **end for**
 8: $D_{Supp}, D_{nSupp} \leftarrow \text{SuppressFixedTarget}(H, T_{Acc})$
 9: **return** D_{Supp}, D_{nSupp}

그림 2. 오탐 신호 억제 알고리즘
Fig. 2. An algorithm false alarm suppression.

Algorithm 2 Generate Beamgrid

Input :
 Azimuth range Min_{Az}, Max_{Az}
 Elevation range Min_{el}, Max_{el}
 Beam width BW_{Az}, BW_{ez}

Output:
 Crated beamgrid G
 Created beam count C

Initialize:
 $\Delta Az \leftarrow BW_{Az}$
 $\Delta El \leftarrow BW_{ez}$
 $Row \leftarrow 0$
 $C \leftarrow 0$

Procedure:

- 1: **for** $\theta El = Min_{el}$ to Max_{el} **step** ΔEl **do**
- 2: $Col \leftarrow 0$
- 3: **for** $\theta Az = Min_{Az}$ to Max_{Az} **step** ΔAz **do**
- 4: $G[Row][Col].beamId = C$
- 5: $C \leftarrow C + 1$
- 6: $Col \leftarrow Col + 1$
- 7: **end for**
- 8: $Row \leftarrow Row + 1$
- 9: **end for**
- 10: **return** G, C

그림 3. 빔그리드 생성 알고리즘
 Fig. 3. An algorithm generate beamgrid.

적 신호는 임곗값에 따른 표적 신호 추출을 수행하게 되고 이를 알고리즘의 결과로 반환한다.

그림 3은 빔그리드를 생성하는 알고리즘을 나타내며, ΔAz 및 ΔEl 는 빔 폭(BW)에 따라 생성할 탐색 빔의 간격을 의미하고, θAz 및 θEl 은 생성된 탐색 빔의 각도를 의미한다. Row 와 Col 은 빔그리드의 행과 열을 의미한다. 최소 고각부터 최대 고각까지 순회하며 탐색 빔그리드를 생성하게 되며, 각각 탐색빔별 $beamId$ 를 설정한다. 전체 빔그리드가 생성되면 생성된 빔그리드 G 와 및 총 탐색빔 개수 C 를 반환한다.

그림 4는 데이터 누적을 위한 변수를 초기화하는 알고리즘을 보여준다. 탐색빔 개수 C 만큼 순회하며 데이터 누적을 위한 변수 공간을 초기화한다.

그림 5는 k 번째 탐색에서 수집된 데이터 처리 알고리즘을 보여준다. 먼저 빔그리드 G 를 순회하며 탐색빔 g 에 해당하는 데이터 z_g 를 $Z(k)$ 에서 가져온다. 여기서 $Z(k)$

Algorithm 3 Initialize Accumulation Map

Input :
 Initialization parameter C

Output :
 Accumulation map H

Procedure :

- 1: **for** $i = 1$ to C **do**
- 2: $H[i] \leftarrow \text{empty}$
- 3: **end for**
- 4: **return** H

그림 4. 누적 데이터 초기화 알고리즘
 Fig. 4. An algorithm initialize accumulation map.

Algorithm 4 Perform Surveillance Data

Input :
 Surveillance data $Z(k)$
 Beamgrid G

Output:
 Target detection set D_k

Procedure:

- 1: $D_k \leftarrow \text{empty set}$
- 2: **for** beam g in G **do**
- 3: **for** target signal z_g in $Z(k)[g]$ **do**
- 4: **if** z_g equals True **then**
- 5: Add z_g to $g.targetSignals$
- 6: **end if**
- 7: Add g to D_k
- 8: **end for**
- 9: **end for**
- 10: **return** D_k

그림 5. 레이다 탐색 알고리즘
 Fig. 5. An algorithm perform surveillance data.

는 k 번째 탐색에서 수집된 탐색빔 데이터 전체를 의미하며, 수신한 신호 z_g 가 표적 신호로 판단되는 경우, 이를 탐색빔 g 의 표적 신호로 추가한다. 전체 빔그리드인 G 를 순회하며 각각 탐색빔 g 에 대해 수신한 표적 신호를 계산하고 이를 D_k 에 포함하도록 한다. 여기서 D_k 는 k 번째 탐색에서 생성된 표적 데이터셋을 의미하며 이를 기반으로 신호 누적을 통해 오탐 및 정탐 여부를 판단하게 된다.

그림 6은 탐색 간 생성된 표적 신호를 누적하는 알고리즘을 보여준다. k 번째 데이터셋 D_k 를 순회하며 각각 탐색빔 g 를 획득한다. 이후 탐색빔 g 에 해당하는 누적된 표

Algorithm 5 Update Accumulation Map

Input :
 Accumulation map H
 Target detection data set in k_{th} scan D_k

Output:
 Update accumulation map H

Procedure:

- 1: **for** detected beam g in D_k do
- 2: **for** previous target signal h_g in $H[g.beamId]$ **do**
- 3: $s_{prev} \leftarrow h_g$
- 4: **for** target signal z_g in $g.targetSignals$ **do**
- 5: $s_{cur} \leftarrow z_g$
- 6: $r \leftarrow Equation(1)(s_{prev}, s_{cur})$
- 7: **if** r equals True **then**
- 8: $H[g.beamId][h_g] \leftarrow H[g.beamId][h_g] + 1$
- 9: **end if**
- 10: **end for**
- 11: **end for**
- 12: **end for**
- 13: **return** H

그림 6. 탐색빔 데이터 누적 알고리즘
 Fig. 6. An algorithm accumulation surveillance data.

적 데이터 h_g 를 누적 데이터 맵 H 에서 추출하여 이를 이전 표적 데이터 s_{prev} 에 설정하고, 현재 표적 데이터 목록 $g.targetSignals$ 을 순회하며 현재 표적 데이터인 s_{cur} 로 설정한다. 이후 식 (1)을 이용하여 이전 표적과 현재 표적의 비교 결과를 q 로 저장한다. 동일한 표적으로 판단하였을 때 현재 탐색빔 g 및 이전 표적 데이터 위치 h_g 에 누적하도록 한다.

$$\forall p \in \{r, u, v\}, \frac{|s_{prev_p} - s_{cur_p}|}{e_p} < w_p \quad (1)$$

식 (1)에서 e 는 파형별 해상도이며, w 는 변수 p 에 대한 가중치, r 은 표적 신호의 거리, u, v 는 각각 표적의 각도 성분이다. 이는 탐색간 사용하는 파형 및 레이더 설계 간 반영한 정보를 활용하였다.

그림 7은 데이터 누적을 통해 표적 신호를 획득하는 알고리즘을 보여준다.

전체 누적된 표적 데이터 맵 H 에서 각 탐색빔 g 에 해당하는 표적 신호 목록을 순회하며 표적 신호 z_g 가 임계

Algorithm 6 Get not Suppress Target

Input :
 Accumulation map H
 Accumulation count T_{Acc}

Output:
 Newly detection set D_{nSupp}
 Suppressed detection set D_{Supp}

Procedure:

- 1: $D_{Supp} \leftarrow$ empty set, $D_{nSupp} \leftarrow$ empty set
- 2: **for** each beam g in H **do**
- 3: **for** target signal z_g in g **do**
- 4: **if** $z_g < T_{Acc}$ **then**
- 5: **Add** z_g to D_{nSupp}
- 6: **else then**
- 7: **Add** z_g to D_{Supp}
- 8: **end if**
- 9: **end for**
- 10: **end for**
- 11: **return** D_{Supp}, D_{nSupp}

그림 7. 누적 데이터 기반 표적 추출 알고리즘
 Fig. 7. An algorithm get not suppress target data.

값 T_{Acc} 를 만족하지 못한 표적 정보를 D_{nSupp} 에, 만족한 표적 신호를 추가하고 종료한다.

III. 성능분석

실제 운용 환경에서 운용 시험을 통해 알고리즘의 성능을 분석하였다. 시험을 위해 표 1과 같은 설정값을 사용하였으며, 레이더 운용 위치는 해수면이 보이는 개활지에 고정되어 있으며 $T_{Acc}=\{3, 5, 10\}$ 에 따라 시험을 시행했다. 또한 레이더에서 사용한 잡음 신호는 레이더 배치 당시 측정된 값에 기반하여 표적 신호를 추출하도록 하였다.

먼저 $T_{Acc}=5$ 때의 분석 결과는 그림 8과 같다. $k=1...50$ 에 따라 생성되는 신규 표적의 개수 D_{nSupp} 는 지속적으로

표 1. 시험환경 구성

Table 1. Information for test scenarios.

Experimental configuration					
Min_{Az}	Max_{Az}	Min_{El}	Max_{El}	BW_{Az}	BW_{El}
170	220	0	10	1	1

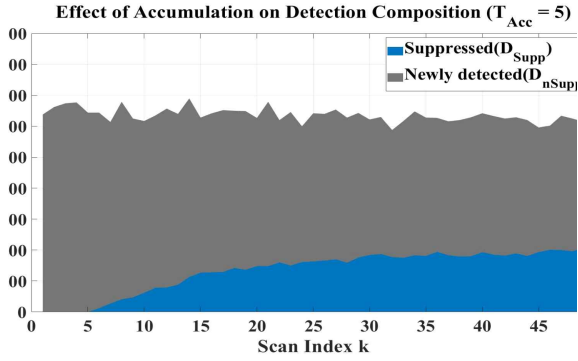


그림 8. 신규, 누적 표적 신호 그래프($T_{Acc}=5$)
 Fig. 8. Graph of suppressed and newly detected targets ($T_{Acc}=5$).

감소했으며, k 값이 증가함에 따라, 오탐으로 판단되는 D_{Supp} 값은 증가하였다.

이를 기반으로 자원율을 식 (2)와 같이 계산하였다. 식 (2)에서 $D_{nSupp}(k)$ 및 $D_{raw}(k)$ 는 k 번째 탐색에서 생성된 모든 표적 신호 중 누적 판단 이후 신규로 판단된 표적들의 개수이다.

$$Ratio(k) = 1 - \frac{|D_{nSupp}(k)|}{|D_{raw}(k)|} \quad (2)$$

이를 바탕으로 자원 누적을 통해 오탐으로 판단한 표적의 비율을 분석한 결과는 그림 9와 같다. 먼저 $T_{Acc}=3$ 의 경우 $k=50$ 일 때 약 38%의 오탐을 억제하는 효과가 있었으며, $T_{Acc}=10$ 의 경우 같은 시점에서 약 35%의 오탐을 억제하였음을 확인하였다.

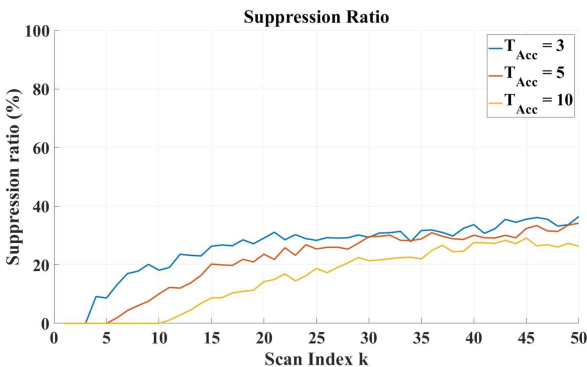


그림 9. 오탐 누적 비율 그래프
 Fig. 9. Graph of suppressed ratio.

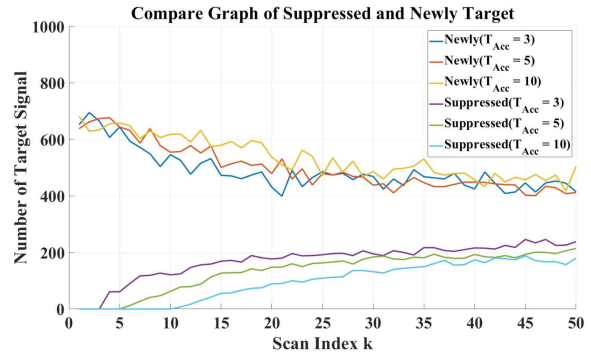


그림 10. 오탐, 신규 표적 비교 그래프
 Fig. 10. Graph of comparison with suppressed and newly targets.

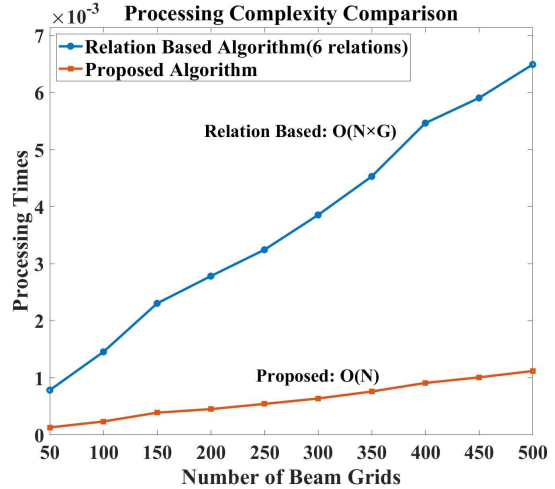


그림 11. 시간 복잡도 성능 비교 그래프
 Fig. 11. Time complexity graph of comparison with proposed and relation based target suppression algorithm.

$k=1...50$ 까지 모든 경우에 관한 결과는 그림 10과 같이 정리할 수 있다. 모든 T_{Acc} 의 경우에서 신규 표적으로 판단되는 표적의 개수는 감소하였으며, 오탐 표적으로 판단되는 표적의 개수는 증가하였다.

그림 11은 연관 관계 기반 오탐 억제 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘의 시간복잡도에 대한 성능 분석을 수행한 결과이다. 이때 N 은 생성된 표적 신호의 개수이며, G 는 연관된 빔의 개수를 나타내며 시간복잡도 계산을 위해 연관된 빔의 개수는 6개로 가정하였다. 이때 연관 관계 기반 오탐 누적 방식의 경우 연관된 빔들과 생

성된 표적의 정보 전체에 대해 비교를 수행해야 하므로 시간복잡도는 $O(NG)$ 가 되며, 본 논문에서 제안한 방식은 생성된 표적들의 개수만 비교하므로 $O(N)$ 의 시간복잡도를 갖게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식이 실시간 운용에 적합함을 검증하였다.

IV. 알고리즘 분석 및 논의

제안한 알고리즘은 이전에 발생한 표적 신호와 신규로 발생한 표적 신호의 거리, 각도 성분의 비교를 통해 오탐 표적에 대한 억제를 수행한다. 이 경우 정상 표적을 오탐으로 판단하게 될 가능성이 존재한다. 따라서 시뮬레이션 환경에서 다음과 같은 총 3가지 경우에 대한 분석을 수행하였다. (1) 표적이 $50m/s$ 로 이동하는 표적, (2) 회전 기동을 수행하는 표적, (3) 이동 중인 표적이 중간에 멈추었다가 다시 기동하는 경우, 먼저 (1)의 상황에서 표적에 대한 추적 유지 및 시뮬레이션 표적의 거리, 방위각, 고각 정보는 그림 12와 같으며, 거리, 방위각, 고각에 대한 추적 정보가 정상임을 확인하였다.

그림 13은 (2)의 경우에 대한 추적 정보와 궤적 정보를 비교한 그림이다. 표적이 회전 기동을 수행할 때 대해서도 표적 추적을 정상적으로 유지함을 확인하였다. 그림 14는 (3)의 경우에 대한 추적 정보와 시뮬레이션 궤적 정보를 비교한 그림이다. 이 경우 표적이 이동 중 멈추었다가 기동을 다시 수행하는 경우이며 이때 표적 정보가 정지한 순간 추적 정보를 소실하였으나, 이후 기동을 수행하고 나서

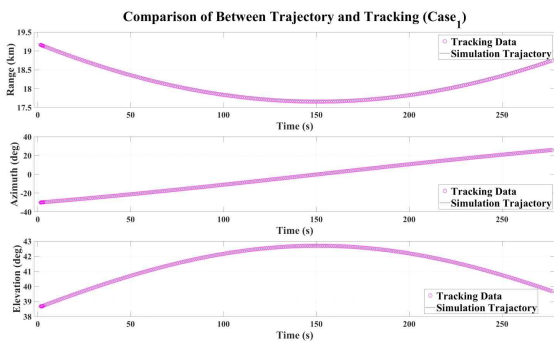


그림 12. 궤적 및 추적 정보 비교 그래프(case 1)
Fig. 12. Comparison of between trajectory and tracking (case 1).

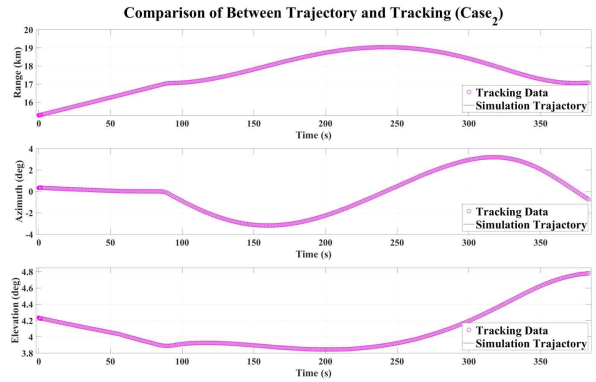


그림 13. 궤적 및 추적 정보 비교 그래프(case 2)
Fig. 13. Comparison of between trajectory and tracking (case 2).

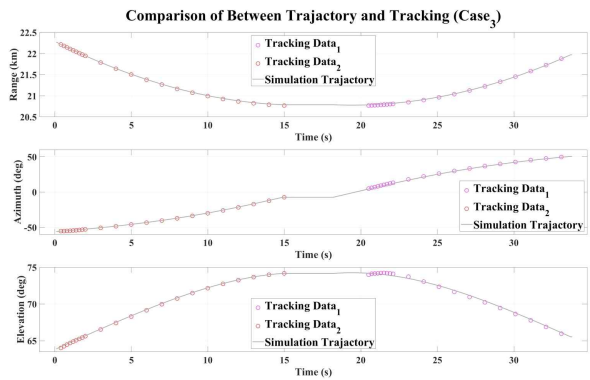


그림 14. 궤적 및 추적 정보 비교 그래프(case 3)
Fig. 14. Comparison of between trajectory and tracking (case 3).

정상적으로 추적을 수행함을 확인하였다. 따라서 표적이 저속으로 기동하거나 중간에 정지하는 경우가 아니라면 추적 정보를 정상 유지함을 검증하였다.

그림 15는 T_{Acc} 설정을 위한 표적 신호들의 분포를 보여준다. 실제 수집된 표적 신호들에 대해 방위각 $170^\circ \sim 215^\circ$ 에 대하여 $1 \sim 7$ km까지 탐색간 수집된 모든 표적 신호를 나타낸 것이다. 먼저 노란색으로 보이는 표적 신호들은 100회 이상(2 이상) 동일한 위치에서 수집된 표적 신호이며 히트맵 수치가 $0.8 \sim 1.2$ 사이에 있는 표적들은 $6 \sim 12$ 회 동일한 위치에서 발생한 표적 신호들이다. 따라

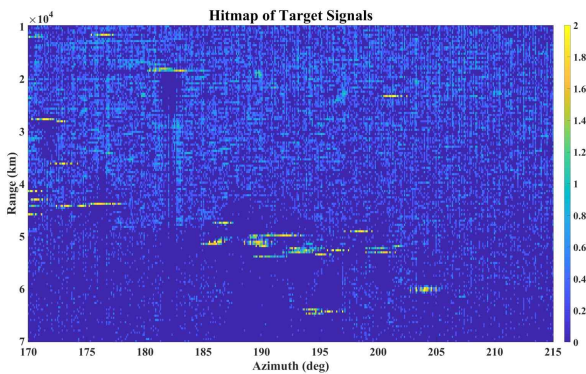


그림 15. 표적 신호 히트맵
Fig. 15. Hitmap of target signals.

서 T_{Acc} 값을 5 이상으로 설정하면 대부분의 고정 표적들의 신호를 억제할 수 있다. 하지만 레이더의 운용 환경이나 배치 지역에 따른 최적의 T_{Acc} 값을 사전에 분석하는 것이 필요할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 레이더의 탐색 간 수집되는 신호를 누적하고 이를 바탕으로 오탐 신호를 억제하는 알고리즘을 제안하였으며 실제 레이더 운용 환경에서 오탐으로 판단되는 표적 신호를 최대 38 % 억제하는 것을 검증하였다.

References

- [1] S. H. Lee, I. O. Choi, M. S. Kang, and K. T. Kim, "Efficient sparse representation algorithm for accurate DOA estimation of multiple targets with single measurement vector," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 60, no. 1, pp. 31-37, Jan. 2018.
- [2] J. C. Park, Y. K. Seo, and J. W. Park, "Algorithm for removing false plots in heavy weather clutter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 34, no. 12, pp. 946-949, Dec. 2023.
- [3] S. H. Kim, Y. I. Kim, "Surveillance false plot removal strategy based on beamgrid," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, pp. 609-612, Jun. 2025.

김 석 화 [한화시스템/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0001-3711-2482>



2017년 2월: 백석대학교 정보보안학과 (공학사)

2019년 2월: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)

2022년 8월~현재: 한화시스템 선임연구원 [주 관심분야] 레이더 시스템, 성능분석

김 연 일 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0009-0008-5355-8696>



2014년 2월: 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2016년 2월: 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2015년 12월~현재: 한화시스템 전문연구원 [주 관심분야] 레이더 시스템, 성능분석

임 재 혁 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3570-9533>



2014년 2월: 고려대학교 컴퓨터·통신공학부 (공학사)

2016년 2월: 고려대학교 전자통신공학과 (공학석사)

2020년 2월: 고려대학교 전자통신공학과 (공학박사)

2020년 2월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템, 인공지능 융합

정 대 교 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5977-4156>



2012년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)

2020년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)

2021년 2월~현재: 국방과학연구소 선임
연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템, 신호처리