

## 빔그리드 기반의 탐색빔 오탐 플롯 제거 방안

## A Beamgrid-Based False Plot Rejection Method for Radar Surveillance

김 석 화<sup>1</sup> · 김 연 일<sup>2</sup>Seok-Hwa Kim<sup>1</sup> · Yeon-Il Kim<sup>2</sup>

## 요 약

레이다의 운용 자원이 포화되면 신규 표적에 대한 탐지와 추적이 불가능한 문제가 발생하며, 이는 레이다가 포함된 무기체계 전체에 영향을 미칠 수 있다. 이는 추적 중인 표적을 신규 표적이라고 인식하는 오탐 플롯을 제대로 검출하지 못하는 것과 상관관계가 있다. 특히 동시에 수십 발 이상의 표적을 추적 중인 레이다에서 다수의 신규 플롯이 발생하면, 플롯을 검증하기 위해 순간 많은 자원을 할당해야 한다. 이는 한정된 레이다 자원을 포화시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 레이다 탐색빔의 연관 관계 형성을 통한 오탐 플롯 검출 알고리즘을 제안한다. 레이다는 탐색을 위해 특정 영역에 대해 빔그리드를 생성하고 정해진 방사 순서에 따라 탐색을 수행한다. 이때 빔별 연관 관계를 형성하고, 이를 바탕으로 이전 플롯과 현재 플롯의 비교를 통해 오탐 플롯을 검출하였다. 또한 시뮬레이션 환경에서 생성된 신규 플롯의 개수를 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

## Abstract

Radar systems can become saturated when excessive resources are allocated to validating false plots misidentified as new targets, despite originating from existing tracks. This overload may hinder new target detection and lead to serious consequences. To address this, we propose a false plot detection algorithm that leverages beam-wise association within the radar's predefined search grid. By forming associations between beams and comparing current plots with previous detections, the algorithm effectively filters out false plots. Simulation results demonstrate the algorithm's ability to reduce false detections and prevent resource saturation.

Key words: Plot Association, Surveillance, False Plot

## I. 서 론

다기능 레이다는 한정된 자원을 효율적으로 할당하여 다양한 기능을 동시에 수행하는 장비이다. 레이다의 운용 자원이 포화상태에 이르면, 신규 표적 탐지 지연이나, 기존 표적 소실 등의 문제가 발생한다. 특히 탐색 과정에서

불필요한 표적 검증 절차가 이루어지면, 자원이 순식간에 낭비되고 최악의 경우 자원 포화로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근 레이다 분야에서는 추적 정확도 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. Lee 등은 다중 표적의 입사각을 정확히 추정하기 위한 알고리즘을 제안하였다<sup>[1]</sup>. Kang 등은 안테나 패턴 기반의 추적 성

한화시스템(Hanwha Systems)

1: 선임연구원(<https://orcid.org/0009-0001-3711-2482>), 2: 전문연구원(<https://orcid.org/0009-0008-5355-8696>)

· Manuscript received April 30, 2025 ; Revised May 14, 2025 ; Accepted May 16, 2025. (ID No. 20250430-045)

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

능 향상을<sup>[2]</sup>, Kang과 Back은 효율적인 패턴 합성 방법을<sup>[3]</sup>, Kang 등은 소자의 결함을 고려한 패턴 재합성 기법을 연구하였다<sup>[4]</sup>. 이러한 기법들은 정상 표적의 추적 정확도 향상에는 효과적이지만, 오탐 플롯을 구조적으로 제거하여, 레이다 자원을 보호하는 접근은 미비한 실정이다. 이에 본 논문에서는 탐색 과정에서 발생하는 오탐 플롯 제거 방안을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 빔 간 연관 관계를 사전에 정의하여 이전 플롯과 현재 플롯의 오탐 여부를 판단하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 생성된 신규 표적의 개수를 바탕으로 알고리즘의 성능을 평가하였다.

## II. 오탐 플롯 처리 알고리즘

### 2.1 빔그리드 연관 관계 설정

레이다는 그림 1과 같은 알고리즘을 통해 탐색을 수행한다. 먼저 기존 빔그리드를 초기화하고 신규 빔그리드를 생성한다. 이때 빔그리드는 설정된 시작/종료 방위각 ( $StartAz$ ,  $EndAz$ ), 시작/종료 고각( $StartEl$ ,  $EndEl$ )과 빔 폭( $W$ )에 따라 각 빔의 위치를 계산하여 구성된다. 이후 생성된 빔그리드에 대해 모든 빔 간의 연관 관계를 형성하고, 해당 빔그리드를 기반으로 탐색을 수행한다. 빔그리드는 시작 고각부터 종료 고각까지, 모든 고각에 대해 한 줄씩 빔그리드를 생성하여 전체를 하나의 빔그리드로 구성한다. 그림 2는 시작 방위각  $-10^\circ$ , 종료 방위각  $10^\circ$ , 시작 고각  $10^\circ$ , 종료 고각  $30^\circ$ ,  $W = 1^\circ$ 을 기준으로 생성된 빔그리드이다.

그림 3은 그림 2와 같이 생성된 빔그리드의 빔별 연관

**Algorithm 1** Radar Surveillance

```

1: procedure RadarSurveillance( $StartAz$ ,  $EndAz$ ,
2:    $StartEl$ ,  $EndEl$ ,  $W$ )
3:   clear Beamgrid
4:   Beamgrid  $\leftarrow$  CreateBeamgrid( $StartAz$ ,  $EndAz$ ,
5:      $StartEl$ ,  $EndEl$ ,  $W$ )
6:   if Beamgrid equals null
7:     return False;
8:   SetBeamRelation(Beamgrid,  $W$ )
9:   StartSurveillance(Beamgrid)
10: end procedure

```

그림 1. 레이다 탐색 알고리즘

Fig. 1. An algorithm for radar surveillance.

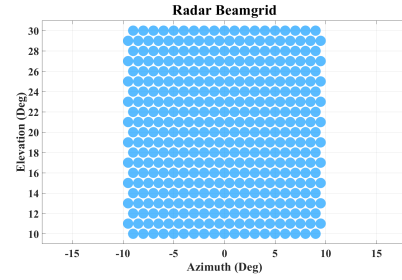


그림 2. 레이다 탐색 빔그리드

Fig. 2. A beamgrid of surveillance.

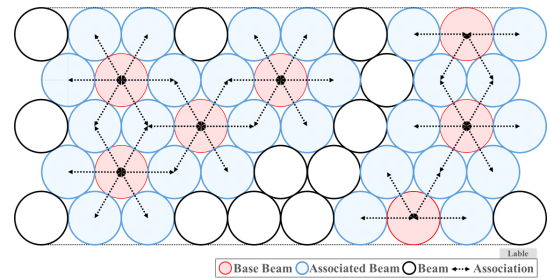


그림 3. 빔별 연관 관계 개념도

Fig. 3. A concept of associating beams.

관계를 형성한 개념도를 보여준다. 가장 아래에 위치한 빔은 바로 윗줄에 있는 빔들과 연관 관계를 형성하며, 중간에 있는 빔은 위아래 인접한 줄의 빔들과 연관 관계를 형성한다. 가장 윗줄의 위치한 빔은 바로 아래 줄의 빔들과 연관 관계를 형성하게 된다.

**Algorithm 2** SetBeamAssociation

```

1: procedure SetBeamAssociation(Beamgrid,  $W$ )
2:   for  $El\_Idx \leftarrow 0$  to Beamgrid.size()
3:     CompBeamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx$ ]
4:     if  $El\_Idx$  equals 0
5:       CompBeamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx + 1$ ]
6:     else if  $El\_Idx$  equals Beamgrid.size() - 1
7:       CompBeamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx - 1$ ]
8:     else
9:       CompBeamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx - 1$ ]
10:      CompBeamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx + 1$ ]
11:   Beamlist  $\leftarrow$  Beamgrid[ $El\_Idx$ ]
12:   for  $Az\_Idx \leftarrow 0$  to Beamlist.size()
13:     CurBeam  $\leftarrow$  Beamlist[ $Az\_Idx$ ]
14:     for  $Comp\_Idx \leftarrow 0$  to CompBeamlist.size()
15:       CompBeam  $\leftarrow$  CompBeamlist[ $Comp\_Idx$ ]
16:       if Equation(1) equals True
17:         add CompBeam.Id to CurBeam.RelationList
18:   end procedure

```

그림 4. 빔별 연관 관계 형성 알고리즘

Fig. 4. Algorithm for forming association beams.

그림 4는 생성된 빔그리드의 연관 관계를 형성하는 알고리즘의 의사 코드를 보여준다. 2~10번 줄(빨간색)은 현재 줄을 기준으로 비교 대상(*CompBeamList*)을 설정하는 부분이다. 연관 관계 설정은 최하단 줄부터 시작하여 마지막 줄까지 순차적으로 진행된다. 먼저 현재 줄이 속한 빔 목록을 비교 대상으로 추가하고, 줄의 위치가 최하단, 중단, 또는 최상단인지에 따라 추가적인 비교 대상을 초기화한 후 현재 줄(*BeamList*)의 맨 앞에 있는 빔(*Cur Beam*)부터 비교 대상이 되는 모든 빔(*CompBeam*)을 순회하며 연관 관계를 형성한다.

16~19번 줄(파란색)은 기준 빔과 비교 대상 빔이 식 (1) 을 만족하는지를 판단하여, 연관 관계 여부를 결정하는 부분이다.

$$\sqrt{(AZ - AZ_0)^2 + (EL - EL_0)^2} \leq W \quad (1)$$

식 (1) 에서 ( $AZ_0, EL_0$ )은 기준 빔의 방위각, 고각을 의미하며 ( $AZ, EL$ )은 비교 대상이 되는 빔의 방위각, 고각을 의미한다. 해당 과정은 생성된 모든 빔에 대하여 연관 관계를 형성한 뒤 종료한다.

## 2.2 오탐 플롯 검출 알고리즘

제안한 오탐 플롯 검출 알고리즘의 의사 코드는 그림 5와 같다. 본 알고리즘은 현재 빔의 신호처리 결과에서 플

```

Algorithm 3 ProcessRemoveFalsePlot
1: procedure ProcessRemoveFalsePlot(CurPlotList, Beam, BeamMap)
2:   if Beam.IsFirstBeam equals True do clear BeamMap
3:   if CurPlotList.size() > 0
4:     IsNewBeam ← True
5:     for Idx ← 0 to Beam.RelationList.size()
6:       RelateBeamId ← Beam.RelationList[Idx]
7:       if not find RelateBeamId from BeamMap do continue;
8:       else
9:         PrevPlotList ← BeamMap[RelateBeamId].PlotList
10:        for CurPlotIdx ← 0 to CurPlotList.size()
11:          CurPlot ← CurPlotList[CurPlotIdx]
12:          for PrevPlotIdx ← 0 to PrevPlotList.size()
13:            PrevPlot ← PrevPlotList[PrevPlotIdx]
14:          if Equation(2) equals True
15:            erase CurPlot from CurPlotList[CurPlotIdx]
16:            IsNewBeam ← False; break
17:          else ProcessNewTarget(CurPlot, Beam)
18:          if IsNewBeam equals True
19:            add Beam to BeamMap[BeamId]
20:          ProcessNewTarget(CurPlot, Beam)
21: end procedure
    
```

그림 5. 오탐 플롯 검출 알고리즘  
Fig. 5. Algorithm of detection false plot.

롯 정보(*CurPlotList*)가 추출된 경우에만 수행되며, 빔 정보와 플롯 정보를 저장할 변수인 *BeamMap*을 별도로 관리한다.

5~13번 줄(빨간색)은 *RelationList*(현재 빔의 연관 관계 목록)을 순회하면서 *BeamMap*내에 비교 대상이 되는 빔 정보(*RelateBeamId*)가 존재하는지 확인하고, 이전 플롯 목록(*PrevPlotList*)을 초기화하는 과정이다.

다음으로 *CurPlotList*와 *PrevPlotList*을 전체 순회하며 현재 플롯(*CurPlot*)을 이전 플롯(*PrevPlot*)과 비교하여 오탐 플롯인지 판단한다. 그림 5의 14번 줄(파란색)은 *CurPlot*과 *PrevPlot*이 식 (2)를 만족하여, 오탐 플롯인지 판단하는 부분이다.

$$\forall p \in \{r, u, v, rv\}, \frac{|CurPlot_p - PrevPlot_p|}{e_p} < w_p \quad (2)$$

식 (2)에서  $e$ 는 파형별 해상도를 의미하며,  $w$ 는 변수  $p$ 에 대한 가중치이며  $r, rv$ 는 플롯의 거리, 속도를  $u, v$ 는 플롯의 각도를 의미한다. 제안한 방안에서는 오탐 플롯인 경우, 현재 플롯을 삭제하였으며 이와 반대로 비교할 대상이 없거나 혹은 오탐 플롯이 아닌 경우 현재 플롯 목록과 빔 정보를 *BeamMap*에 저장하고, 신규 플롯으로 판단하여 검증을 수행하도록 하였다.

## III. 성능분석

알고리즘 성능분석을 위해 모의 표적 기반의 시뮬레이션을 구성하여 모의 중인 표적에 대해 표적 검증을 수행하였으면 신규 플롯(*NewPlots*)으로 판단하였으면 신규 플롯 개수를 기반해 성능분석을 수행하였다. 각 시뮬레이션의 자세한 설명은 표 1과 같으며, 그림 6은 Case 1의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

$$NewPlots = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^s Plot_{i,j} \right) \right) \quad (3)$$

식 (3)은 성능 검증을 위해 신규 플롯의 개수를 계산하기 위한 공식이다. 식 (3)에서  $Plot_{i,j}$ 는  $i$ -번째 시뮬레이션의  $j$ -번째 탐색 주기 동안 신규로 판단된 플롯의 개수이다. 또한 성능분석을 위해 다음 세 가지 알고리즘에 대한 성능분석을 수행했다. (1) 제안한 알고리즘, (2) 직전 플롯

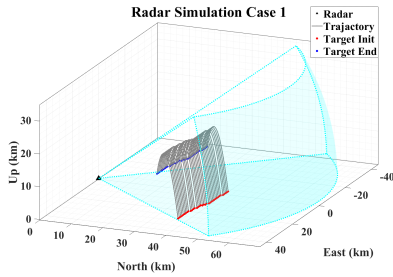


그림 6. 레이더 시뮬레이션 case 1

Fig. 6. Radar simulation case 1.

표 1. Case 별 시뮬레이션 구성

Table 1. Information for each simulations.

Config/Case	Case 1	Case 2	Case 3
Beamgrid simulation information			
Beam width( $W$ )	$1^\circ$	$1^\circ$	$1^\circ$
StartAz	$-40^\circ$	$-35^\circ$	$-40^\circ$
EndAz	$40^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$
StartEl	$1^\circ$	$1^\circ$	$10^\circ$
EndEl	$30^\circ$	$80^\circ$	$80^\circ$
Surv beam count	2,464	5,629	5,724
Simulated target information			
Targets(T)	36	69	35
Elevation range	$0^\circ \sim 30^\circ$	$21^\circ \sim 53^\circ$	$0^\circ \sim 59^\circ$
Azimuth range	$39.5^\circ \sim -68^\circ$	$-34^\circ \sim 34^\circ$	$40^\circ \sim -40^\circ$
Direction	Different for each target	$180^\circ$	$-90^\circ$
Surv count(s)	10	10	10
Simulation times( $N$ )	10	10	10

을 기준의 오탐 플롯 검출, (3) 오탐 플롯 검출 미수행. 각 알고리즘의 성능분석 결과는 그림 7과 같다. 제한한 알고리즘은 모든 Case에서 신규 플롯의 개수가 감소하였다. 특히 Case 2에서 평균 5.5개의 신규 플롯이 생성되어, 다른 알고리즘에 비해 신규 플롯의 개수가 최대 55 % 수준으로 감소하였다.

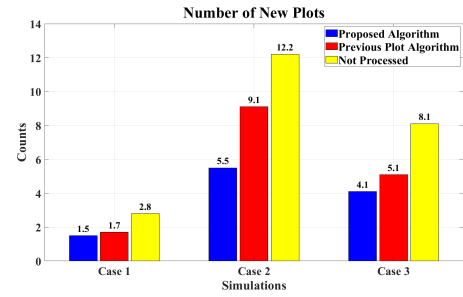


그림 7. 생성된 신규 플롯 개수 그래프

Fig. 7. Graph of generating new plot counts.

#### IV. 결 론

본 알고리즘은 빔 간 연관성을 활용해 구조적으로 오탐 플롯을 제거함으로써, 복잡한 수치 최적화 과정 없이도 실제 레이더 시스템에 적용할 수 있다. 향후 실제 레이더 시스템에 적용하여 성능 검증을 진행할 예정이다.

#### 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] M. S. Kang, Y. J. Won, B. G. Lim, and K. T. Kim, "Efficient synthesis of antenna pattern using improved PSO for spaceborne SAR performance and imaging in presence of element failure," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 16, pp. 6576-6587, Aug. 2018.
- [3] M. Kang, J. Baek, "Efficient and accurate synthesis for array pattern shaping," *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5537, Jul. 2022.
- [4] M. S. Kang, Y. J. Won, B. G. Lim, and K. T. Kim, "Study on spaceborne SAR system performance improvements using antenna pattern resynthesis in presence of element failure," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 8, pp. 624-631, Aug. 2018.