

## 다기능레이다의 다중 탐색영역 탐색운용기법

# Search Operation Method for Multi-Search Areas of Multi-Function Radar

이 수 정 · 김 남 문

Soojeong Lee · Nam Moon Kim

### 요 약

본 논문에서는 다기능레이다의 작전 효율성을 극대화하기 위하여 위협 예상 영역에 분리된 탐색영역을 설정하고, 중요도에 따른 다중 탐색영역 탐색운용기법을 제안하였다. 특히, 탐색영역별 표적의 최대탐지거리를 충족하기 위한 프레임타임을 만족시키기 위해서 탐색영역별 탐색시간을 이용한 탐색비율 계산식을 제안하였다. 그리고 탐색비율을 충족하기 위하여 영역별 탐색시간에 대한 임계값을 기준으로 탐색영역을 전환하여 다중 탐색영역에 대한 요구조건을 만족시킬 수 있는 탐색운용기법을 제안하였다. 본 논문에서는 탐색과형이 다른 2개의 탐색 영역을 설정하고, 요구조건을 만족함을 수학적으로 확인하였다. 또한, 다양한 시뮬레이션 조건에 따른 성능분석을 통하여 제안 기술의 적합함을 검증하였다.

### Abstract

In this study, separate search areas are set in the threat area to maximize the operational efficiency of the multi-function radar, and a search operation method for multi-search areas according to their importance, is proposed. In particular, to satisfy the frame time required to fulfill the maximum detection range for each search area, a search ratio calculation method using the search times of each area is proposed. In addition, to satisfy the search ratio, a search operation method is proposed that can meet the requirements for multi-search areas by switching the search area based on the threshold for the search time, for each area. In this study, two search areas with different search waveforms were set, and the achievement of the requirement was mathematically verified. In addition, the suitability of the proposed method was confirmed through performance analysis under various simulation conditions.

Key words: Multi-Function Radar, Search Operation Method, MFR Operation Concept, Frametime, Resources Management

### I. 서 론

다기능레이다는 단일 레이더로 표적의 탐지/추적/교전 임무 등의 대공방어를 위한 다양한 임무를 수행하는 레이더이다. 다양한 임무에서 한정된 시간 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 임무에 따른 우선순위를 부여하고, 다양한 빔 운용기법을 적용하고 있으며, 레이더 운용의

효율성을 향상시키기 위한 적응형, 비적응형 기법 등의 다양한 연구들이 진행되고 있다<sup>[1]~[5]</sup>. 이들 모든 연구는 단일 탐색영역에서의 빔 운용기법들에 대해 소개하고 있다.

본 논문에서 제시하는 빔의 운용순서는 고정된 상태에서 시간에 따라 순차적인 빔을 운용하는 비적응형 기법으로, AESA 레이더에서 다수의 운용모드를 동시에 운용하는 동시운용모드를 위한 빔 운용기법에 대한 연구가

한화시스템 레이더체계1팀(Radar System 1 Team, Hanwha Systems)

· Manuscript received November 5, 2021 ; Revised December 7, 2021 ; Accepted December 31, 2021. (ID No. 20211105-009S)

· Corresponding Author: Nam Moon Kim (e-mail: nammoonkim@gmail.com)

있다<sup>[6]</sup>. 해당 연구는 다양한 옵션에 따라 모드별 할당된 자원량을 만족하며, 탐색 전환 옵션을 제공하는 빔 스케줄링 기법을 소개하고 있다. 관련연구들은 빔운용과 모드 전환과 관련된 연구들로 표적의 예측되는 위협수준에 따른 탐색영역별 중요도와 탐지거리, 프레임 타임을 고려한 탐색빔 운용이 필요하며, 본 논문에서는 이를 위해 다중 탐색영역의 탐색 시간과 중요도가 높은 탐색영역의 프레임타임을 만족하기 위한 빔 운용기법을 제안한다.

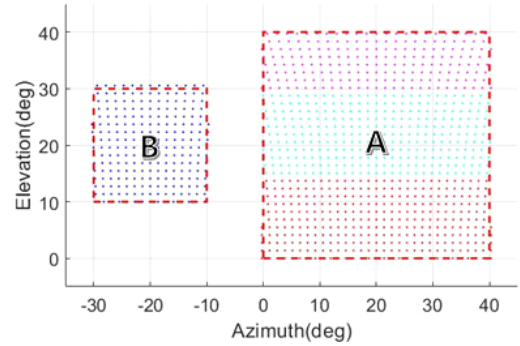
다기능레이다 단독 운용으로 방어영역에 탐색영역을 설정하여 신규 표적을 탐지하는 임무는 새로운 위협표적에 대응하기 위하여 가장 중요한 기능이다. 넓은 영역을 방어하기 위해서 레이다는 넓은 탐색영역을 설정해야 한다. 안테나의 크기 등에 의해 빔폭은 고정되어 있기 때문에, 탐색영역의 확장은 탐색빔을 추가해서 탐색을 수행해야 하며, 탐색영역을 탐색하는데 걸리는 시간은 증가하게 된다. 탐색시간의 증가는 동일한 위치의 탐색빔을 재송신하는데 걸리는 시간(프레임 타임)을 증가시키게 되고, 결국 위협 표적 재탐지에 소요되는 시간을 증가시키게 된다. 증가된 시간 동안 표적은 이동하게 되며, 탐지 거리 감소로 이어진다. 이는 위협표적 대응시간 감소로 더 큰 문제를 야기할 수 있다.

이러한 탐지거리 감소 문제를 보완하기 위하여, 위협표적이 발생할 것으로 예상되는 다수의 영역에 탐색영역을 운용함으로써, 탐색에 소모되는 레이다 자원을 줄이고, 각 탐색영역별로 주요 위협표적(항공기 혹은 탄도탄)의 운동특성이 다르므로 탐지거리 확보를 위해서는 속도가 빠른 탄도탄의 재탐지 시간을 최소화하기 위한 탐색운용기법이 필요하다.

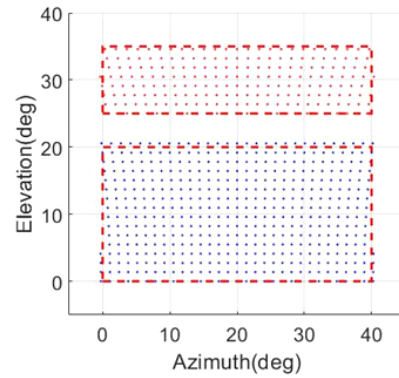
본 논문에서는 다중 탐색영역 운용 시, 탐색영역별 중요도에 따른 탐색 빔 운용기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해서 확인했다.

## II. 다중 탐색영역 및 프레임타임 정의

다중 탐색영역이란 다기능 레이다 탐색임무 수행을 위해 설정된 연속되지 않은 탐색영역을 의미한다. 다중 탐색영역은 그림 1과 같이 방위각 방향(a) 혹은 고각 방향(b)으로 존재할 수 있으며, 다수의 탐색영역으로 확장될



(a) 방위각 방향  
(a) Azimuth-direction



(b) 고각 방향  
(b) Elevation-direction

그림 1. 다중 탐색영역  
Fig. 1. Multi-search areas.

수 있다. 각 탐색영역에서 탐지하고자 하는 표적의 종류와 탐지거리에 따라서 서로 다른 중요도를 가질 수 있으며, 본 논문에서는 중요도가 다른 2개의 다중 탐색영역에 적용될 수 있는 탐색운용기법을 제시한다.

레이다의 탐색과 추적 등의 임무에 할당되는 시간자원을 고려한 프레임 타임은 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$FT_A = \frac{T_A}{T_{scan}}, FT_B = \frac{T_B}{T_{scan}} \quad (1)$$

위 식에서  $FT_A$ ,  $FT_B$ 는 각 영역의 프레임타임을,  $T_A$ ,  $T_B$ 는 각 영역의 탐색 시간, 그리고  $T_{scan}$ 은 다기능레이다의 탐색자원 사용률을 의미한다. 탐색자원 사용률은  $(1 - R_{Track})$ 으로 1초 동안 추적자원( $R_{Track}$ )에 할당되는 비율을 제외한 탐색 빔에만 할당되는 비율을 의미한다.

### III. 다중 탐색영역 탐색운용기법

위험표적의 동적 특성을 기반으로 각 탐색영역별로 만족해야 하는 프레임타임을 충족하기 위해서, 영역별 탐색 비율을 설정해야 한다. 이때, 모든 영역에 대한 프레임타임 요구조건을 충족하기는 어렵기 때문에 중요도가 높은 탐색영역을 우선적으로 고려한다. 그림 1에서 B영역에 대한 중요도가 높을 때, 해당 영역의 프레임타임 요구조건(=  $FT_{B,req}$ )을 충족하기 위하여 A 영역을 1회 탐색할 때 B 영역의 탐색 횟수( $N$ )의 값은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$N = \frac{T_A}{FT_{B,req} \times T_{scan} - T_B} \quad (2)$$

위 식으로 구한 탐색 비율을 만족하기 위한 다중 탐색 영역 탐색빔 운용 순서는 그림 2와 같다.

- 1) 탐색영역 A에 해당하는 탐색빔을 순차적으로 송신
- 2) 탐색영역 A를 순차적으로 탐색하는데 소요된 누적 시간( $t_A$ )이  $t_{int}$  이상이 될 때까지 1) 반복
- 3) 탐색영역 B의 탐색빔을 순차적으로  $K$ 개의 탐색빔 송신

$$K = \left\lfloor \frac{\text{Cumulative searchtime in Search section A}}{t_{int}} \right\rfloor$$

- 4) 1) ~ 3) 반복

여기서,  $t_{int}$ 은 탐색영역 B의 탐색 횟수( $N$ )을 충족하기

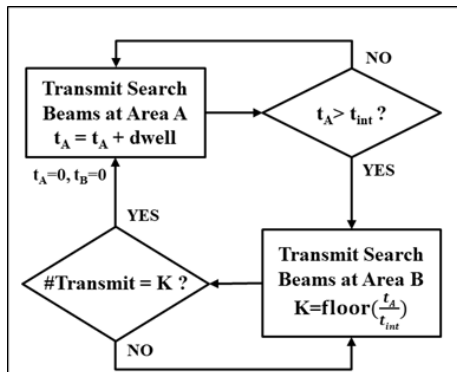


그림 2. 다중 탐색영역 탐색운용기법 블록도  
Fig. 2. Search operation method for multi-search areas block diagram.

위하여, 탐색영역 A를 탐색하는 누적 탐색시간에 대한 임계 시간을 나타내며, 식 (3)과 같이 계산된다.

$$t_{int} = \frac{T_A}{T_B \times N} \times dwell_{B,avg} \quad (3)$$

이때, 탐색영역 내에서 운용되는 파형은 단일 혹은 다양한 파형의 조합으로 운용될 수 있으므로, 탐색영역 B의 평균 파형시간( $dwell_{B,avg}$ )을 이용하여 임계시간을 계산한다. 파형시간( $dwell$ )은 탐색빔 1개가 방사되는 시간을 말한다.

### IV. 다중 탐색영역의 탐색운용기법 적용사례

본 논문에서 제시된 탐색운용기법에 대한 시뮬레이션은 그림 1(a)에 제시된 2개의 다중탐색영역에 대하여, 단일 탐색파형과 다중 탐색파형을 적용한 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

#### 4.1 단일 탐색 파형

단일 탐색 파형을 적용한 시뮬레이션 환경 및 요구조건은 표 1과 같다.

이 시뮬레이션 환경의 기준  $N$ 과  $t_{int}$ 은 다음과 같다.

$$N = \frac{4.17}{(10 \times 0.5 - 1.84)} \cong 1.32$$

$$t_{int} = \frac{4.17}{(1.84 \times 1.32)} \times 0.008 \cong 13.8 \text{ ms}$$

위의 값들을 적용하여 시뮬레이션한 결과  $N$ 은 1.204로 계산값 대비 작았으며, 탐색영역 B의 프레임타임( $FT_B$ )은 10.604초로 요구조건을 초과한다.

표 1. 탐색영역별 탐색파형 및 스캔타임  
Table 1. Waveform & scan time for each section.

Search section	A	B
Search area (deg)	Azimuth: 0~40 Elevation: 0~40	Azimuth: -30~-10 Elevation: 10~30
Dwell (ms)	5.0	8.0
Search time (s)	4.17	1.84

· 탐색영역 B의 요구조건: 탐색 자원 사용률( $T_{scan}$ )이 50 % 일 때, 프레임타임 10초 이내.

예상 탐색 횟수와 프레임타임의 차이는 탐색영역별로 서로 다른 길이의 파형을 운용하므로, 정확한  $t_{int}$  주기로 탐색영역을 변경할 수 없기 때문에 오차가 존재하게 된다. 그림 3은 탐색영역 B의 빔 송신간격 목표값과 실제 송신된 간격을 나타낸다. 탐색영역 B의 빔 송신 간격은 임계값( $t_{int}$ )을 초과하는 동안 탐색영역 A에서는 3번의 빔 송신으로 15 ms의 시간을 소요하며, 탐색영역 B의 탐색빔 송신 개수는 1개로 총 23 ms 간격으로 송신하게 되는 것을 확인할 수 있다.

탐색빔 스케줄링 결과, 프레임타임 10초 초과로 요구조건을 충족하지 못하였다. 이를 보완하기 위하여 탐색영역 A의 탐색파형을 고려해 임계값을 감소시킴으로써, 프레임 타임 감소 효과를 볼 수 있다. 탐색영역 A의 임계값을 10.0 ms로 감소함으로써  $N$ 은 1.81로 증가하며, 프레임 타임은 8.29초로 감소되어 요구조건을 충족하는 것을 확인할 수 있으며, 이때 탐색빔 송신 간격은 그림 4와 같다.

#### 4.2 다중 탐색 파형

다중 탐색 파형을 적용한 시뮬레이션 환경 및 요구조건은 표 2와 같다.

이 시뮬레이션 환경의 기준  $N$ 과  $t_{int}$ 은 다음과 같다.

$$N = \frac{4.14}{(10 \times 0.5 - 1.84)} \cong 1.31$$

$$t_{int} = \frac{4.14}{(1.84 \times 1.31)} \times 0.008 \cong 13.7 \text{ ms}$$

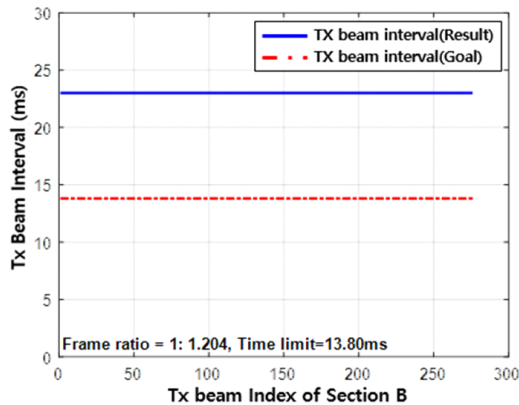


그림 3. 탐색영역 B의 탐색빔 송신 간격 (단일 탐색 파형,  $t_{int}=13.8$  ms)

Fig. 3. Probing time interval of section B(single waveform).

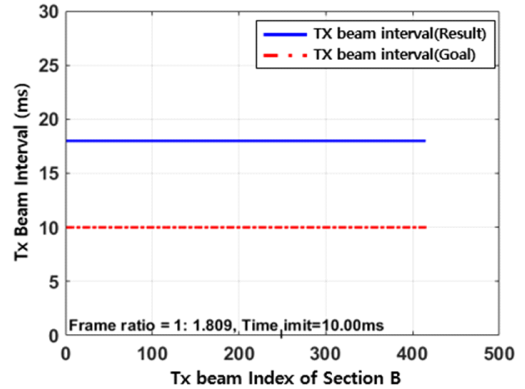


그림 4. 탐색영역 B의 탐색빔 송신 간격(단일 탐색 파형,  $t_{int}=10.0$  ms)

Fig. 4. Probing time interval of section B(single waveform).

표 2. 탐색영역별 탐색파형 및 스캔타임

Table 2. Waveform & scan time for each section.

Search section	A	B
Search area (deg)	Azimuth: 0~40 Elevation: 0~40	Azimuth: -30~-10 Elevation: 10~30
Dwell (ms)	Elevation 0~15: 3.5 Elevation 15~30: 6.5 Elevation 30~40: 5.0 (Average Dwell: 5.0)	Elevation 10~30: 8.0 (Average Dwell: 8.0)
Search time (s)	4.14	1.84

· 탐색영역 B의 요구조건: 탐색 자원 사용률( $T_{scan}$ )이 50 % 일 때, 프레임타임 10초 이내.

위의 값들을 적용하여 시뮬레이션한 결과,  $N$ 은 1.07로 계산값 대비 작았으며, 탐색영역 B의 프레임타임( $FT_B$ )은 11.45초로 요구조건을 초과한다.

단일 탐색 파형과 동일하게 요구조건 충족을 위하여 탐색파형 임계값을 11.0 ms로 감소시킴으로써,  $N$ 은 1.36으로 증가하고, 탐색영역 B의 프레임타임은 9.78초로 만족함을 확인하였다. 변경된 임계값 기준 탐색영역 B의 탐색빔 송신간격은 그림 5와 같다.

단일 파형을 갖는 4-1절의 결과에서 실제 탐색빔 송신 간격이 일정한 반면, 다중 탐색 파형에서는 실제 탐색빔 송신 간격이 매번 다른 것을 확인할 수 있다. 탐색영역 A에서 순차적으로 운용되는 파형의 길이가 다르기 때문에, 탐색영역 A에서 누적되는 파형시간은 지속적으로 변화

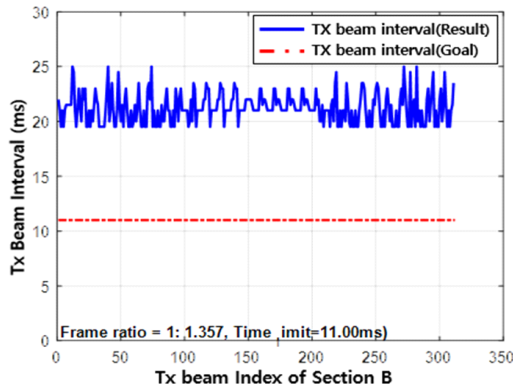


그림 5. 탐색영역 B의 탐색빔 송신 간격 (다중 탐색 파형,  $t_{int}=11.0$  ms)

Fig. 5. Probing time interval of section B (multiple waveforms).

게 되고, 탐색영역 B에서의 빔 송신 간격이 변하게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 다기능레이다 탐색 시, 시간자원을 절약하기 위하여 위협이 되는 영역에 분리된 탐색영역을 설정하고, 중요도에 따라 탐색빔을 운용하는 탐색운용기법을 제안하였다.

탐색영역이 단일 파형과 다양한 파형으로 운용되는 시뮬레이션 환경에서 탐색기법의 요구사항 충족 여부를 분석하였다. 탐색영역의 파형 길이 차이에 의해 정확한  $t_{int}$  주기로 탐색영역을 변경할 수 없기 때문에 오차가 존재하고, 요구조건을 만족하지 못하는 것을 확인하였다. 또한 계산된 임계값을 감소시킴으로써, 요구조건을 충족함을 보였다.

이를 통해서 제안한 기법이 다중 탐색영역의 요구조건을 충족할 수 있음을 확인하였다. 향후, 다수의 탐색영역과 추적파형 등 실제 레이더 운용을 고려한 탐색기법에

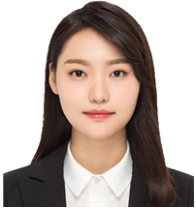
대한 연구를 수행하고자 한다.

## References

- [1] J. Park, W. Yang, S. Shin, and J. Chun, "Beam scheduling method of shipborne multifunction radar using priority queues," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 2, pp. 200-203, Feb. 2020.
- [2] S. Jin, N. Jeong, J. Choi, S. Lee, C. Kim, and K. Kim, "Radar beam scheduling using pareto optimal point to optimize dual cost function," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 8, pp. 677-687, Aug. 2019.
- [3] J. M. Butler, "Multi-function radar tracking and control," Ph.D. dissertation, University College London, London, 1998.
- [4] A. J. Orman, C. N. Potts, A. K. Shahani, and A. R. Moore, "Scheduling for a multifunction array radar system," *European Journal of Operational Research*, vol. 90, no. 1, pp. 13-25, Apr. 1996.
- [5] E. Roh, C. S. Ahn, and S. J. Kim, "Beam scheduling algorithm of multi-function aesa radar based on dispatching rules," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 1, pp. 1-13, Jan. 2012.
- [6] J. E. Roh, J. J. Won, and J. H. Yoon, "Beam scheduling algorithm for interleaved mode of AESA radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 377-385, Apr. 2021.

이 수 정 [한화시스템/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0739-7923>



석

2018년 2월: 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)

2020년 2월: 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)

2020년 3월~현재: 한화시스템 레이다체계 1팀 연구원

[주 관심분야] 레이다시스템 설계, 성능분

김 남 문 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0581-122X>



2011년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)

2016년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학박사)

2016년 3월~현재: 한화시스템 레이다체계 1팀 전문연구원

[주 관심분야] 레이다시스템 설계, 추적필터, 성능분석, 실내 측위