

항공기 탑재 레이더의 자세와 위치 변화를 고려한 적응적인 동시운용모드 빔 스케줄링 기법

Adaptive Beam Scheduling Algorithm Considering Changes in the Posture and Position of Airborne Radar

서 정 직 · 홍 용 준

Jeongjik Seo · Yongjun Hong

요 약

동시운용모드는 두 가지 이상의 모드를 사용자에게 동시에 제공하는 것이다. 이를 위해 각 모드에 할당되는 시간자원이 줄어들므로 각 모드의 성능은 저하된다. 따라서 자원을 적절히 배분하여 각 모드의 성능 저하를 최소화할 수 있는 스케줄링 방법이 필요하다. 공대지 영상모드와 공대공 탐지/추적 모드의 동시운용에서는 영상 갱신 주기가 단일모드운용 대비 길어지며, 공대공 추적성능이 저하될 수 있으므로 이를 고려하여 스케줄링하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 공대공 추적성능 저하를 최소화하면서 현재 탐색영역의 일정비율 이상의 공대지 영상을 항상 얻기 위해 레이더 탑재 항공기의 자세와 위치변화를 활용하여 영상 갱신 주기를 적응적으로 조절하는 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

Abstract

The purpose of an interleaved mode is to simultaneously provide two or more modes to the user. For this, the time resources allocated to each mode are reduced, and thus, the performance of each mode is degraded. Therefore, a scheduling method is required that can minimize the performance degradation of each mode by appropriately allocating resources. In the interleaved mode that operates the ground imaging and air-to-air search/track modes, the image update interval is longer than that of the single mode operation, and air-to-air tracking performance can be degraded; therefore, scheduling must be planned considering them. In this paper, to always obtain images above a certain proportion of the current search area while minimizing the degradation of air-to-air tracking performance, a scheduling algorithm that adaptively adjusts the image update interval by utilizing the posture and position change of the radar-mounted aircraft is proposed.

Key words: Radar, Interleaved Mode, Beam Scheduling, Resource Allocation

I. 서 론

능동위상배열(active electronically scanned array: AESA)
안테나는 전자적인 빔조향에 의해 즉각적인 빔 조향이

「이 연구는 2022년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임 (274190001).」

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received September 26, 2022 ; Revised October 25, 2022 ; Accepted December 5, 2022. (ID No. 20220926-076)

· Corresponding Author: Jeongjik Seo (e-mail: jjseo@add.re.kr)

가능하다^[1]. 최신의 항공기 탑재 레이더는 이러한 능동위상배열 안테나의 능력을 활용하여 동시운용(interleaved) 모드를 운용하고 있다^[2]. 동시운용모드는 두 가지 이상의 모드 또는 기능을 시분할하여 운용하고, 이를 동시에 운용되는 것처럼 사용자에게 제공한다. 따라서 여러 모드가 한정된 시간 안에 운용되어야 하므로 적절한 순서로 스케줄링되는 것이 중요하다. 이때 시간자원이 각 모드에 배분되므로 동시운용모드에서는 단일모드 운용 대비 각 모드의 성능이 필연적으로 저하된다. 따라서 성능 저하를 최소화하면서 두 모드를 적절히 시간적으로 분할하여 운용하는 스케줄링 알고리즘이 필요하다.

일반적으로 레이더가 제한된 시간에 여러 임무를 수행하려면 임무의 수행 순서를 결정해야 하며, 이를 위하여 다양한 스케줄링 알고리즘이 연구되었다. 각 임무에 대해 우선순위를 정하고 가장 높은 우선순위를 가지는 빔이 스케줄링되도록 하는 임무 우선순위 기반의 알고리즘^[3]과 임무의 마감시간과 우선순위를 함께 고려하는 타임벨런스 기반의 스케줄링 알고리즘^[4]이 알려져 있다. 이외에도 임무 마감시간이 가장 짧게 남은 것부터 스케줄링하는 WEDD(weighted earliest due date), 처리 시간이 가장 짧은 것부터 스케줄링하는 WSPT(weighted shortest processing time), 마감시간을 넘긴 것과 넘기지 않은 것을 구분하여 처리하는 방식인 WMDD(weighted modified due date)^[5] 등의 여러 알고리즘도 제안되었다. 이러한 기존 연구들은 단일모드에서 여러 임무들의 중요도, 마감시간 등을 주로 고려하였는데, 동시운용모드 운용 시 각 모드의 성능을 최적화하는 관점에서는 한계가 있다.

동시운용모드에서 사용하는 스케줄링 알고리즘으로는 모드별 자원배분율, 탐색횟수, 처리시간을 조정하는 방식이 연구되었다^[2]. 이 방식은 모드별 특징이 반영되도록 자원배분율 등을 적절히 설정할 수 있으나, 변화하는 상황에 적합하게 스케줄링하는 데 한계가 있다. 예를 들어, 지면 영상을 획득하는 모드를 포함한 동시운용모드에서 항공기가 고속이동하거나 자세변화가 큰 경우 현재탐색영역 밖으로 이전영상이 빠르게 이동해 나가므로 영상을 자주 갱신해야 한다. 반면, 항공기가 저속에 자세변화가 없다면 영상을 자주 갱신할 필요가 없다. 따라서 상황에 따라 영상갱신주기를 변경할 수 있는 적응적인 스케줄링

알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 공대지 영상형성 모드인 RBGM(real beam ground mapping)^[6] 모드와 공대공 탐지 및 추적 모드인 AAST(all aspect search and track) 모드의 동시운용 스케줄링 방법에 대해 기술한다. 레이더를 탑재한 항공기(이하 항공기)의 이동, 자세변화 등을 활용하여 성능저하를 최소화하는 적응적인 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

II. 동시운용모드 스케줄링 알고리즘

2-1 단일 모드 운용 개념

항공기 탑재 레이더의 동시운용모드는 다양한 모드의 조합으로 구성될 수 있다. 본 논문에서 고려하는 동시운용모드 조합은 RBGM 모드와 AAST 모드이며, 각 모드에 대한 운용개념은 다음과 같다.

RBGM 모드는 전방에 대한 지형정보를 획득하는 모드로, 지면의 설정된 영역에 대하여 빔을 순차적으로 방사하여 영상을 형성한다. 거리와 방위각으로 탐색영역을 설정할 수 있으며, 설정된 탐색영역 방위각에 대해서 빔을 방사하며, 거리 탐색영역까지 영상을 전시한다.

AAST 모드는 공대공 표적을 탐지 및 추적하는 모드이다. 모드를 시작하면 방위각과 고각으로 설정된 탐색영역에 대해 일정한 패턴으로 탐색빔을 방사한다. 탐색 중 표적이 탐지되면 각 표적에 대해서 추가적으로 능동 추적빔을 방사하여 추적을 수행한다. 따라서 AAST 모드에서는 탐색을 수행하는 탐색빔과 능동 추적을 수행하는 추적빔이 있으며, 두 빔의 파형은 상이하다.

2-2 빔 스케줄링 알고리즘

동시운용모드는 두 가지 이상의 모드를 시분할하여 운용하는 방식으로, 각 모드에 할당되는 자원이 감소하여 성능 열화가 발생될 수 있다. 심각한 성능 열화는 정상적인 기능 제공을 불가능하게 할 수 있으므로, 각 모드별 성능 저하를 고려한 스케줄링 알고리즘 설계가 필요하다. 각 모드의 성능 저하 요소는 다음과 같다.

RBGM 모드는 영상 갱신 주기에 영향을 받아 주기가 길어지게 되며, 사용자는 최신 영상을 빠르게 획득하기

어려워진다. 반면, AAST 모드는 추적유지성능, 추적정확도, 추적표적수 등의 항목에서 성능 열화가 발생할 수 있다. 먼저 추적유지성능 측면에서 보았을 때, 자원이 줄어들어 추적 주기가 길어지면 추적을 안정적으로 유지하기 어려워지므로 추적유지성능이 저하된다. 또한 추적 주기는 추적정확도에도 영향을 미치므로 추적정확도 열화가 발생할 수 있다. 추적하는 표적에 대해서 별도의 추적빔을 방사하는 능동 추적방식에서는 동일 시간 내에 단일 모드 운용 대비 적은 수의 추적빔을 할당할 수 있으므로 추적할 수 있는 표적수가 적어질 수 있다. 이상 언급한 성능열화요소들에 대해 최적화되도록 동시운용모드 스케줄러가 설계되어야 한다.

본 논문에서는 공대공 모드와 공대지 영상모드의 동시운용 특성을 고려하여 AAST 모드의 공대공 표적 추적 성능의 열화를 최소화함과 동시에 RBGM 영상의 갱신 주기를 적정 수준으로 관리하는 빔 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 상황에 따라 RBGM 영상 주기를 적절히 조절하여 RBGM 자원이 적정 수준으로 할당되도록 하고, 나머지 자원을 AAST 모드에 할당하여 AAST 모드 성능 저하를 최소화한다. 또한 이미 추적 개시된 표적에 대해서는 기존의 추적주기를 유지할 수 있도록 추적빔을 스케줄링하여 추적유지성능, 추적정확도, 추적표적수에 영향이 없도록 한다.

지표면의 물체는 움직임이 없거나, 비행체에 비하여 그 속도가 느리므로 지표면 영상은 시간에 따라 빠르게 변화하지 않는다. 하지만 공중 표적의 경우 빠른 속도로 이동하므로 공대공 환경은 상대적으로 빠르게 변화한다. 이러한 특성을 고려하여 RBGM 영상 획득 주기를 최소화하고 AAST 모드에 더 많은 자원이 배분되도록 스케줄링한다. 동시운용모드가 시작되면 가장 먼저 RBGM 영상을 한 스캔 획득한다. 영상형성이 끝나면 곧바로 AAST 모드를 수행한다. 다음 RBGM 모드를 시작할 때까지 AAST 모드의 탐색빔과 추적빔만 스케줄링 하여 단일모드 수행과 동일한 방식으로 운용한다. RBGM 모드의 재시작 시점은 현재탐색영역이 이전탐색영역(최근 RBGM 영상범위)과 겹치는 부분의 비율을 기준으로 결정한다. 이는 현재탐색영역을 사용자가 확인하려는 영역으로 보았을 때 이 영역 중 일정 비율 이상에 대한 정보를 항상 제공하기

위함이다. 예를 들어 현재탐색영역과 이전탐색영역이 4/5 이하로 겹칠 경우 RBGM 영상을 갱신한다. 이렇게 하면 사용자는 현재탐색영역 중 4/5이상 영역에 대한 영상을 항상 확인할 수 있다. 이렇게 RBGM 영상 갱신 여부를 결정하는 조건을 RBGM 영상 획득 조건이라고 하며, 아래에서 자세히 기술하였다. RBGM 영상 획득은 항상 한 스캔 단위로 이루어지며, RBGM 영상 획득 중에는 AAST 모드 탐색을 수행하지 않는다. 하지만 AAST 모드 추적빔은 예외로 RBGM 영상 획득 중간에 스케줄링될 수 있다. 이는 추적중인 표적에 대한 성능 열화가 없도록 하기 위함이다. RBGM 영상 획득이 완료되면 다시 AAST 모드 탐색을 이어간다.

RBGM 영상 획득 조건은 기존 RBGM 영상의 γ 이하가 현재탐색영역과 중첩되는지를 기준으로 한다. 이는 크게 두 가지 요소의 영향을 받는다. 첫 번째는 항공기의 이동이고, 두 번째는 항공기의 자세변화이다. 이 두 요소에 대한 영향은 그림 1을 활용하여 다음과 같이 표현할 수 있다. 그림 1은 탐색영역을 방위각과 거리를 기준으로 본 것이다. 항공기는 O_p 에서 가장 최근의 RBGM 영상을 획득하였다. 이때 탐색영역의 방위각과 거리는 각각 ϕ , r 이다. 항공기가 이동하여 현재는 O_c 에 위치해 있고, 탐색영역의 크기는 변화가 없다. 이때 O_p 와 O_c 간의 거리를 d 라고 했을 때 항공기의 이동에 의한 거리와 방위각 차이는 각각 Δr , $\Delta\phi$ 이다. 현재탐색영역은 항공기의 yaw 자세

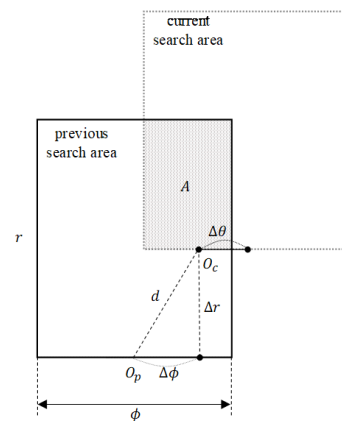


그림 1. RBGM 모드의 이전과 현재탐색영역

Fig. 1. Previous and current search region of RBGM mode.

변화인 $\Delta\theta = |\theta_c - \theta_p|$ 만큼 방위각으로 치우쳐서 형성되므로, 그림 1과 같이 $\Delta\theta$ 만큼 방위각으로 치우쳐진 점을 기준으로 탐색영역이 형성된다. 여기서 θ_p 와 θ_c 는 각각 이전과 현재의 항공기의 yaw 자세이다. 이전탐색영역과 현재탐색영역 간에 겹치는 영역인 A 의 면적은 다음 수식 (1)과 같다.

$$A = (r - \Delta r)(\phi - \Delta\phi - \Delta\theta). \quad (1)$$

현재탐색영역 중 A 가 전체에서 차지하는 비율을 구하여 다음과 같이 RBGM 영상 획득 조건을 정의할 수 있다.

$$\frac{A}{r\phi} = \frac{(r - \Delta r)(\phi - \Delta\phi - \Delta\theta)}{r\phi} \leq \gamma. \quad (2)$$

따라서 위 조건을 만족할 경우 즉시 RBGM 모드로 진

입하여 RBGM 영상을 획득한다. 또한 RBGM 탐색영역 설정이 변경될 경우 사용자가 새로운 영역에 대한 영상 획득을 원하는 것으로 보고, RBGM 영상을 갱신한다.

그림 2는 제안하는 동시운용모드 스케줄링 알고리즘의 순서도이다. 현재 시간 (t), 현재 운용모드(mode), 현재 추적 중인 AAST 모드 트랙(track)을 입력으로 받는다. 모든 트랙 중 추적주기에 따라 추적빔을 방사할 시간 (desired_time)이 지난 트랙이 있으면 해당 트랙에 대해서 추적빔을 할당한다. AAST 추적빔은 언제든 방사될 수 있으므로 가장 먼저 확인하여 추적빔을 할당할 수 있도록 한다. 추적빔을 방사할 시간이 지난 트랙이 존재하지 않으면 RBGM 탐색영역 설정이 변경되었는지, RBGM 영상 획득 조건(식 (2))을 만족하는지를 확인한다. 둘 중 하나라도 만족될 경우 RBGM 탐색을 초기화하고 현재 운용모드를

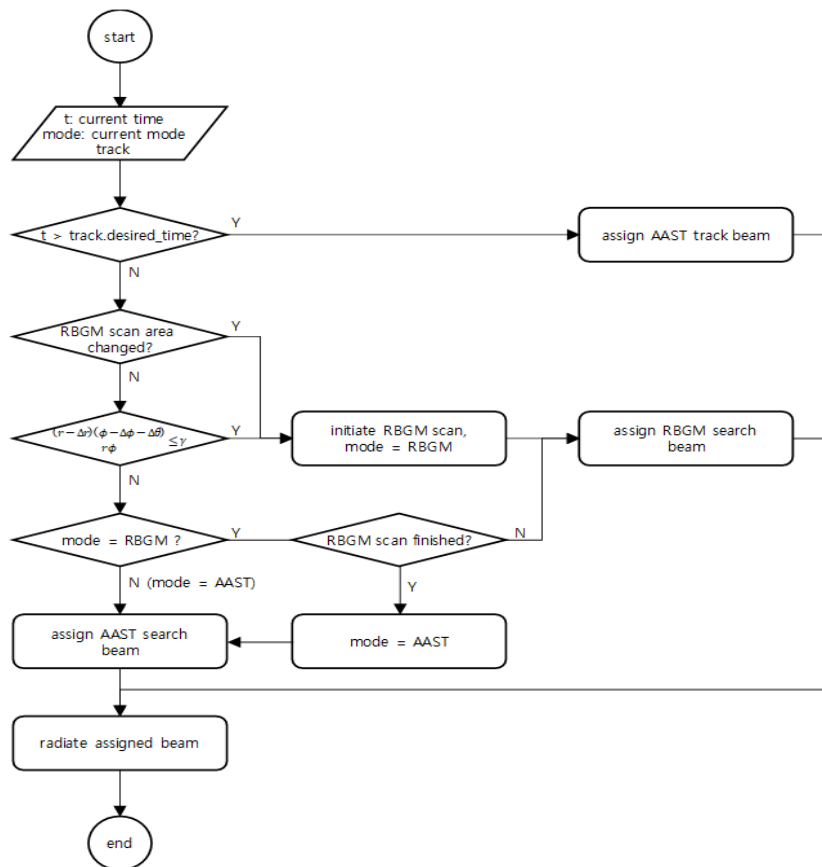


그림 2. 동시운용모드 스케줄링 순서도

Fig. 2. Flow chart of interleaved mode scheduling.

RBGM으로 변경한 뒤, RBGM 탐색빔을 할당한다. 위 조건을 만족하지 못할 경우 현재 수행 중인 모드가 RBGM 모드인지를 확인한다. RBGM 모드일 경우 RBGM 탐색영역에 대한 스캔 상태를 확인하여 스캔이 완료되지 않았을 경우 다음 RBGM 탐색빔을 할당하고, 완료되었을 경우 현재 운용모드를 AAST 모드로 변경하고, AAST 탐색빔을 할당한다. 반면, 현재 수행 중인 모드가 AAST 모드인 경우 AAST 모드 탐색빔을 할당한다. 이상의 과정으로 다음 빔이 할당되며, 할당된 빔을 방사한다.

III. 시뮬레이션

3-1 시뮬레이션 설정

제안한 알고리즘을 확인하기 위하여 두 가지 시나리오를 설정하였다. 그림 3은 두 시나리오를 보여준다. 항공기의 초기 위치를 원점으로 하는 ENU(east-north-up) 좌표계를 기준으로 위치를 전시하였으며, x축은 동쪽, y축은 북쪽 방향을 의미한다. 시나리오 1은 지상 표적이 5기(1~5번 표적)가 있고, 공중 표적이 10기(6~15번 표적)가 있는 시나리오이다. 지상표적은 지면(고도=0 m)에 위치하며, 10 m/s의 속도로 남쪽으로 이동한다. 공중 표적은

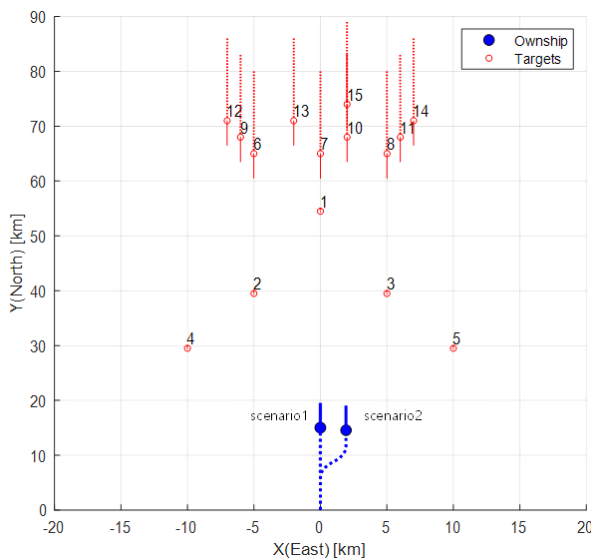


그림 3. 시뮬레이션 시나리오

Fig. 3. Simulation scenario.

고도 3 km에서 300 m/s로 남쪽으로 이동한다. 항공기는 고도 3 km에서 300 m/s로 북쪽으로 이동한다. 시나리오 2는 표적의 경우 시나리오 1과 동일하다. 반면, 항공기는 시나리오 시작 후 등속으로 20초 동안 이동하고, 이후 yaw 방향으로 20 m/s^2 의 가속도로 10초 기동 후, -20 m/s^2 의 가속도로 10초 동안 이동한다. 이후 등속운동으로 다시 전환한 후 시나리오 종료 시까지 유지한다.

RBGM 탐색영역은 거리 40 NM(nautical mile), 방위각 $\pm 30^\circ$ 로, 이에 따른 빔 개수는 31개다. RBGM 모드의 빔 dwell time은 $T_{dwell}^{RBGM} = 50 \text{ msec}$ 이다. AAST 모드 추적은 Kalman filter를 활용한 일반적인 방식^[7]을 활용하였다. AAST모드의 탐색영역은 방위각은 $\pm 30^\circ$, 고각은 2 bar로 설정한다. AAST 모드의 탐색과 추적빔의 dwell time은 각각 $T_{dwell}^{AAST, Search} = 100 \text{ msec}$, $T_{dwell}^{AAST, Track} = 40 \text{ msec}$ 이다. 추적주기는 1 sec, 최대 추적표적수는 10개를 가정한다. $\gamma = 0.8$ 로 설정한다.

3-2 시뮬레이션 결과

시나리오 1에서는 항공기 이동의 영향으로 RBGM 영상 획득 조건(식 (2))을 만족한다. RBGM 영상 획득 조건을 만족한 순간에서의 RBGM 영상과 추적 결과는 그림 4와 같다. RBGM 영상위에 AAST 모드 추적이 함께 전시되어 있다. 지상 표적 5기가 RBGM 영상에 나타나며, 공중 표적 10기가 추적 중임을 확인할 수 있다. 이러한 방식으로 RBGM과 AAST 모드의 기능을 동시에 제공할 수 있다. 또한 현재탐색영역이 초록색 점선으로 표시되어 있다. 이후 RBGM 영상 1 스캔을 획득한 결과는 그림 5와 같다. RBGM 영상을 획득하면 그림 5와 유사하게 거리 방향 영상형성영역인 40 NM까지의 영상을 얻는다. 하지만 항공기가 이동하면서 영상이 점점 아래로 이동하여 그림 4와 같이 화면 상단에 영상이 없는 영역이 증가하게 되고, RBGM 영상 획득 조건(식 (2))을 만족하여 영상을 새로 획득하게 되었다. 그림 6은 시나리오 2에서 RBGM 영상획득조건(식 (2))을 만족하였을 때의 RBGM 영상과 추적결과를 보여준다. 항공기의 yaw 기동에 의해 영상이 왼쪽으로 치우쳐진 것을 확인할 수 있다. 이후 영상을 새로 획득한 결과는 그림 7과 같다. Yaw 기동 중에 영상을

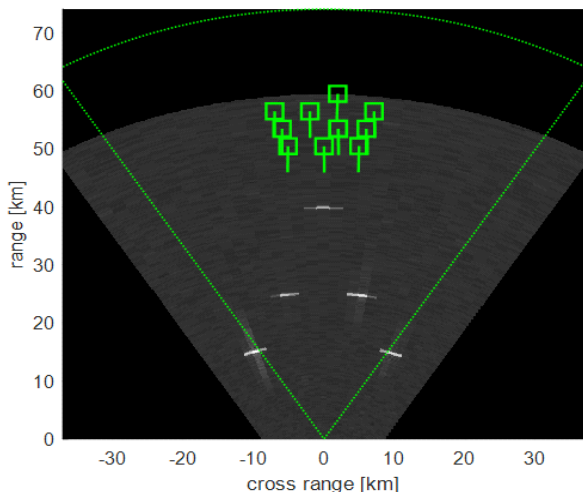


그림 4. 동시운용모드 수행 결과(시나리오 1, 영상 갱신 전)
Fig. 4. Performing results of interleaved mode (Scenario 1, before updating image).

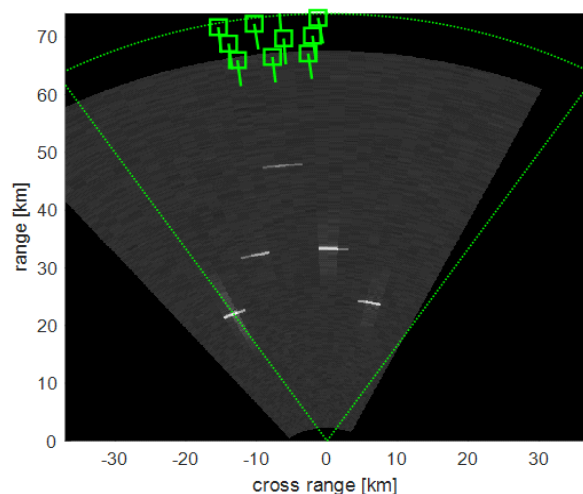


그림 6. 동시운용모드 수행 결과(시나리오 2, 영상 갱신 전)
Fig. 6. Performing results of interleaved mode (Scenario 2, before updating image).

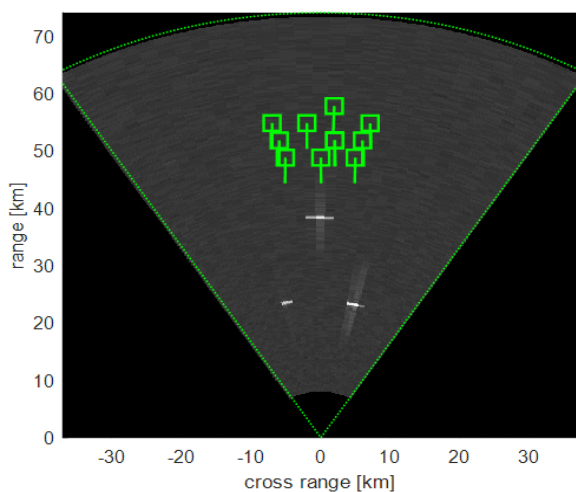


그림 5. 동시운용모드 수행 결과(시나리오 1, 영상 갱신 후)
Fig. 5. Performing results of interleaved mode (Scenario 1, after updating image).

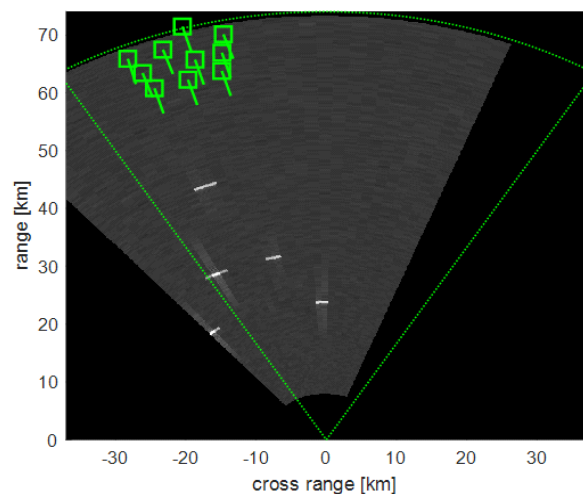


그림 7. 동시운용모드 수행 결과(시나리오 2, 영상 갱신 후)
Fig. 7. Performing results of interleaved mode (Scenario 2, after updating image).

획득하여 탐색영역이 왼쪽으로 치우쳐져 있다.

총 55초의 시간 동안 각 범별 자원(시간)활당비율은 다음과 같다. 시나리오 1에서는 AAST 모드 탐색비가 58.64 %, AAST 모드 추적비가 35.73 %, RBGM 모드 탐색비가 5.63 %이다. 반면 시나리오 2는 자원활당비율이 각각 47.19 %, 35.93 %, 16.8 8 %이다. 시나리오 1 대비 시나리

오 2가 RBGM을 더 많이 수행하였다. 이는 yaw 기동에 의해 더 빠른 주기로 RBGM 영상이 갱신되었기 때문이다. 더 상세한 자원활당비율을 확인하기 위해 5초 단위로 구간을 나누어 구간별 자원활당비율을 확인해 보면 시나리오 1, 2에 대해서 각각 그림 8 및 그림 9와 같다. 시나리오 1은 약 49.4초, 시나리오 2는 약 21.81, 24.57, 26.96,

29.71, 35.53초에서 RBGM 영상 획득 조건을 만족하였다. 시나리오 1보다 시나리오 2가 더 자주 영상을 갱신하였으며, 시나리오 2의 영상획득은 항공기의 기동구간에 집중되어있다. 두 시나리오 모두 RBGM 영상 획득 조건(식 (2))을 만족한 구간에 RBGM 자원이 할당되고, 나머지 구간에는 AAST만 운용되었다. RBGM을 운용하지 않을 때 AAST 추적빔의 비율은 트랙수가 10개로 증가하면서 40 %가 되었고, RBGM 영상 형성 중에도 39~40 %로 큰 차이 없이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이는 AAST 추적빔을 가장 우선적으로 스케줄링하여 추적주기에 따라 적응적으로 할당되기 때문이다. 따라서 AAST 추적빔은 단일 모드운용에서와 동일하게 자원이 할당되므로, 동시운용모드 운용 중에도 AAST 모드의 추적유지성능, 추적정확도, 추적표적수에 대한 성능 열화가 없을 것으로 예상할 수 있다.

시나리오 2에서 기존의 비적응적 스케줄링 기법을 사용하였을 때의 구간(7초)별 자원할당비율은 그림 10과 같

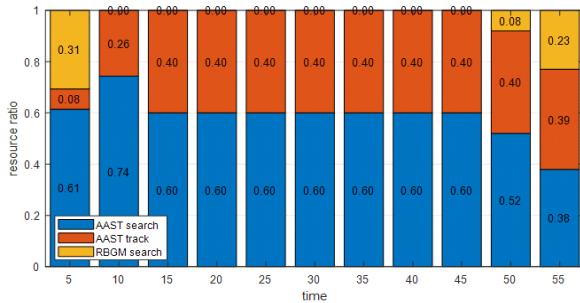


그림 8. 구간별 자원할당비율(시나리오 1)
Fig. 8. Resource allocation ratio by section (Scenario 1).

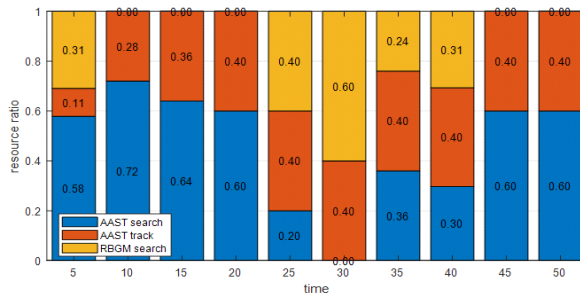


그림 9. 구간별 자원할당비율(시나리오 2)
Fig. 9. Resource allocation ratio by section (Scenario 2).

다. 여기서 사용한 스케줄링 기법은 RBGM 모드 N스캔과 AAST 모드를 M 스캔을 번갈아가며 수행하는 간단한 방식으로 $N=1$, $M=1$ 을 가정하였다. 추적이 개시되는 초반을 제외하고는 동일한 자원비율이 유지된다. 제안하는 알고리즘은 그림 9와 같이 항공기가 기동하여 주변 지상 환경이 급변할 때 더 많은 자원을 RBGM에 할당하여 빠르게 영상을 획득한다. 반면, 기존 기법은 동일한 주기로 영상을 획득하므로 빠르게 변화하는 환경을 늦게 인지할 수 있다는 한계가 있다.

그림 11은 시나리오 1에서 AAST 단일모드를 운용한 결과를 보여준다. 그림 4의 동시운용모드 결과와 비교해

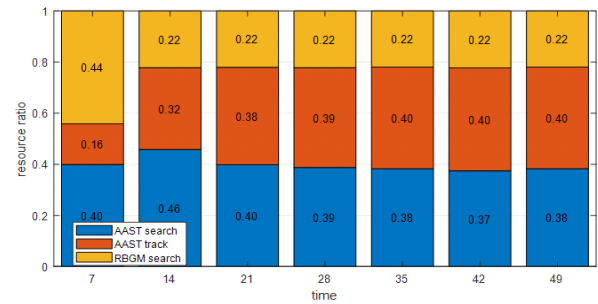


그림 10. 비적응형 스케줄링 기법의 구간별 자원할당비율(시나리오 2)
Fig. 10. Resource allocation ratio by section of the non-adaptive scheduling method (Scenario 2).

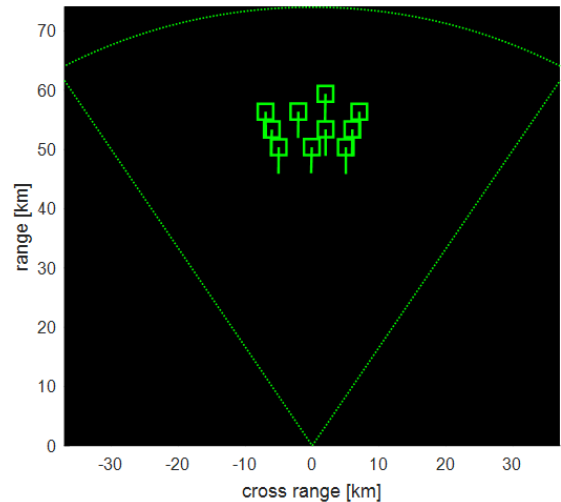


그림 11. AAST 단일모드 운용 결과(시나리오 1)
Fig. 11. AAST single mode operation result (Scenario 1).

보면, 단일모드와 동시운용모드 수행 시 동일하게 10개의 표적에 대해서 정상적으로 추적이 개시되고 추적 소실 없이 유지한다. 따라서 추적유지성과 추적표적수의 성능 열화가 없음을 확인할 수 있다. 그림 12~그림 14는 시나리오 1에서 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 수행하여 각각 거리, 방위각, 고각 추적정확도를 계산한 것이다. 몬테카를로 시뮬레이션은 100회 반복하였으며, RMSE(root mean squared error)를 구하여 시간에 따른 추적정확도를 구하였다. 단일모드 수행 대비 동시운용모드

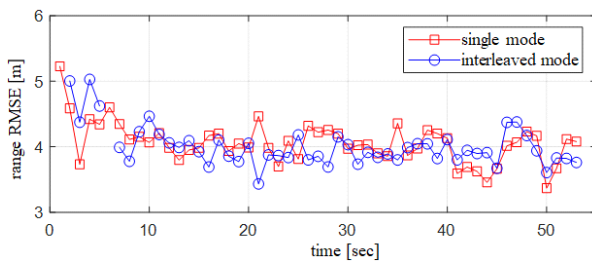


그림 12. AAST 모드 거리 추적정확도(RMSE)
Fig. 12. AAST mode range tracking accuracy (RMSE).

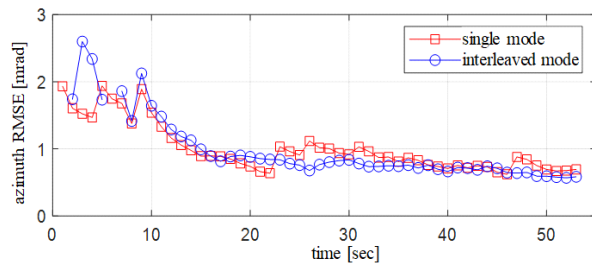


그림 13. AAST모드 방위각 추적정확도(RMSE)
Fig. 13. AAST mode azimuth tracking accuracy (RMSE).

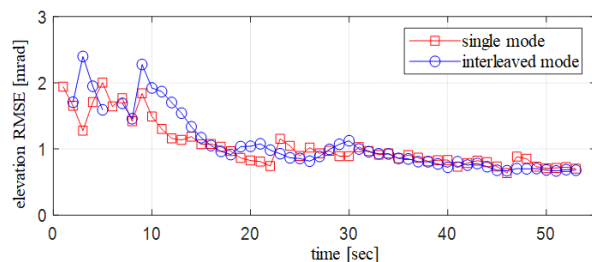


그림 14. AAST모드 고각 추적정확도 (RMSE)
Fig. 14. AAST mode elevation tracking accuracy (RMSE).

수행 시 AAST모드 추적정확도는 거리, 방위각, 고각의 모든 항목에서 유사한 결과를 보여준다. 따라서 추적정확도 열화가 없음을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공기 레이더의 공대지 영상모드인 RBGM 모드와 공대공 표적 탐지/추적 모드인 AAST모드의 동시운용모드에서 적응적으로 빔 스케줄링을 수행할 수 있는 자원관리 알고리즘을 제안하였다. 항공기의 이동과 자세변화를 고려하여 이전 영상과 현재탐색영역 간 겹치는 정도를 수식화하였고, 이를 통해 RBGM 영상 갱신 여부를 결정하면서 나머지 자원을 AAST 모드에 할당하여 공대공 표적의 추적성능의 열화를 최소화하였다. 제안한 알고리즘을 활용한 시뮬레이션 결과, 항공기 이동이나 자세 변화 등으로 이전 영상이 탐색영역 밖으로 일정 수준 이상 벗어나는 경우 곧바로 영상을 갱신하는 것을 확인하였다. 또한 동시운용모드 수행 시 단일모드 대비 AAST모드의 추적유지성능, 추적정확도, 추적표적수에 대한 성능 열화가 없음을 확인하였다.

References

- [1] C. Ting, H. Zishu, and T. Ting, "Novel radar dwell scheduling algorithm based on pulse interleaving," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 20, no. 2, pp. 247-253, Apr. 2009.
- [2] J. E. Roh, J. J. Won, and J. H. Yoon, "Beam scheduling algorithm for interleaved mode of AESA radar," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 377-385, Apr. 2021.
- [3] A. J. Orman, C. N. Potts, A. K. Shahani, and A. R. Moore, "Scheduling for a multifunction phased array radar system," *European Journal of Operational Research*, vol. 90, no. 1, pp. 13-25, Apr. 1996.
- [4] J. M. K. Butler, "Tracking and control in multi-function radar," Ph.D. dissertation, University of London, London, 1998.

- [5] M. Pinero, K. Hadavi, "Scheduling: Theory, algorithms and systems development," in *Operations Research Proceedings 1991*, Berlin, 1991, pp. 35-42.
- [6] G. Bair, "Airborne radar simulation," 1996. Available:

- <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=446d538cfd8c46f8138dec3d9dc2abe20d2e0eaa>
- [7] S. Blackman, R. Popoli, *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, Boston, MA, Artech House, 1999.

서 정 직 [국방과학연구소/선임연구원]

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



적필터

2013년 8월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 8월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학석사)
2016년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더, 추

홍 용 준 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7402-7693>



HPM, 플라즈마

2005년 2월: 포항공과대학교 물리학과 (이학사)
2011년 2월: 포항공과대학교 물리학과 (이학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더,