

다표적-다무장 환경에서 신속 대응을 위한 무장 할당 알고리즘

A Weapon Assignment Algorithm for Rapid Reaction in Multi-Target and Multi-Weapon Environments

윤문형
국방과학연구소

Moonhyung Yoon(moonshine0129@gmail.com)

요약

교전 초기에 높은 위협도를 가진 다수의 표적에 대해 적을 신속하게 제압하기 위해서는 단 시간 내에 가능한 많은 무장을 발사할 수 있도록 적시에 효과적인 무장 할당을 수립하여 교전 효과를 극대화하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 다표적 다무장 환경에서 신속 대응 무기 체계를 위한 무장 할당 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 무장군 별 방위각 크기 기준으로 표적을 정렬하여 방위각 기준으로 표적군-무장군 간 집단 할당을 수행한 후, 산출된 표적의 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행하여 복잡도 낮은 연산으로 신속 대응이 가능한 사격 계획을 수립하여 교전 효과를 극대화한다. 본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증을 수행하였다. 성능 평가 결과, 제안하는 알고리즘은 대규모의 전장 환경에서도 빠른 시간 내에 높은 표적 할당률을 보이는 효과적인 무장 할당을 수행함으로써 신속 발사 무기 체계에 적용할 시에 높은 효율성 및 효과가 기대된다.

■ 중심어 : | 무장 할당 | 사격계획 | 방위각 | 위협도 |

Abstract

In order to dominate the multiple-targets of high threat in the initial stage of combat, it is necessary to maximize the combat effect by rapidly firing as many weapons as possible within a short time. Therefore, it is mandatory to establish the effective weapon allocation and utilize them for the combat. In this paper, we propose a weapon assignment algorithm for rapid reaction in multi-target and multi-weapon environments. The proposed algorithm maximizes the combat effect by establishing the fire plan that enables the rapid action with the operation of low complexity. To show the superiority of our algorithm, we implement the evaluation and verification of performances through the simulation and visualization of our algorithm. Our experimental results show that the proposed algorithm perform the effective weapon assignment, which shows the high target assignment rate within the fast hour even under the large-scale battle environments. Therefore, our proposed scheme are expected to be highly useful when it is applied to real weapon systems.

■ keyword : | Weapon Assignment | Fire Plan | Azimuth | Threat Value |

I. 서론

현대 전장은 기존의 단일 무기로 단일 표적을 요격하는 단표적-단무장 환경에서 벗어나 다수 무기로 다수의 표적을 동시에 요격하는 다표적-다무장 환경으로 점차 변모하고 있다. 이러한 환경에서는 가능한 단시간 내에 전장의 상황을 종합적으로 고려하여 다수의 표적을 효과적으로 제압하기 위한 적절한 사격계획을 수립하고, 이를 작전에 활용하는 것이 필수적이다. 특히, 야군에 큰 피해를 입힐 가능성이 있는 고위협 표적을 선별 및 사격계획에 우선 반영하여 교전 초기에 신속하게 적을 제압할 수 있도록 교전 효과를 극대화하는 것이 중요하다.

이러한 사격 계획의 핵심 알고리즘으로써 무장 할당 알고리즘에 대한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-11]. 그러나 기존 연구에서는 최적의 해(표적-무장 쌍)를 도출하여 교전 효과를 극대화하는 ‘효과성’ 측면에만 초점을 맞췄을 뿐, 교전을 빠르게 수행하는 ‘신속성’ 측면에서는 전혀 고려가 되지 않았다. 기존 연구를 대규모의 다표적-다무장 환경에 적용할 경우 무장 할당을 도출하기 위해 많은 연산과 시간을 필요로 하고, 이는 적에 대한 신속 대응을 수행함에 있어 장애 요소가 된다. 그러므로 다표적-다무장 환경에서 신속 대응 무기 체계에 적용 가능하도록 높은 교전 효과를 거두면서도 빠르게 도출 가능한 무장 할당 알고리즘의 연구가 필요하다.

본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 신속 대응을 위한 무장 할당 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 표적과 무장의 위치 및 방위각, 무장의 사거리, 표적의 위협도 등을 고려한 효과적이면서도 효율적인 무장 할당을 도출하여 신속 대응을 가능하게 한다. 제안하는 알고리즘은 크게 두 단계로 구성된다. 먼저, 무장군 단위로 단일 표적과의 방위각을 연산하고, 이를 기반으로 표적군-무장군 간 집단 할당을 수행한다. 이후, 집단 할당 결과 내에서 단일 표적의 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행하여 최종 무장 할당 결과를 도출한다. 제안하는 알고리즘은 다표적-다무장 환경에서 무장 할당 수행을 위한 연산 복잡도와 연산량

을 감소시킴으로써, 무장 할당 도출 시간을 최소화한다. 이로써 빠르게 도출된 무장 할당을 활용한 신속 대응이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존에 제안된 무장 할당 알고리즘을 분석하고, 기존 연구의 한계와 본 연구 목적을 제시한다. 제3장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 제시한 후, 제4장에서는 제안하는 무장 할당 알고리즘을 기술한다. 제5장에서는 성능 평가를 통해 제안하는 알고리즘의 우수성을 보이며, 마지막으로 제6장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

기존 연구에서의 사격계획 알고리즘의 일반적인 절차는 크게 2단계로 구성된다[1]. 먼저, 첫 번째는 표적에 대한 위협도 평가 단계로써, 적군 자산의 공격 위협으로부터 야군 자산을 보호하기 위해 표적의 다양한 특성을 기반으로 위협을 평가하고, 이를 수치로 정량화된 위협도를 도출한다. 두 번째 단계는 사격계획의 핵심 절차인 무장 할당을 수행하는 단계로써, 최소의 야군 무장으로 적군 자산을 타격하여 적군의 피해를 극대화하는 것을 목적으로 하며, 앞서 도출된 위협도를 기반으로 표적-무장 간 할당을 도출한다.

사격계획 알고리즘 연구의 일환으로써 위협도 평가 기법(본 논문에서는 논외로 함)과 무장 할당 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 무장 할당 알고리즘은 전형적인 NP-완전 문제로써, 다양한 최적화 알고리즘을 활용하여 최적해(표적-무장의 쌍)를 찾기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 연구된 무장 할당 알고리즘의 연구는 크게 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; 이하 GA) 기반의 무장 할당[3][4], 개미 집단 최적화(Ant Colony Optimization; 이하 ACO) 기반의 무장 할당[6-8], 모의 담금질(Simulated Annealing; 이하 SA) 기반의 무장 할당[10] 및 다양한 최적화 기법을 조합한 하이브리드 무장 할당[9][10] 등으로 구분된다.

GA는 생물의 진화 과정을 기반으로 한 최적화 탐색 알고리즘으로써, 선택과 교차, 변이 등의 생물 진화 단계를 통한 최적 해를 도출한다[2]. GA 기반의 무장 할당 알고리즘[3][4]은 연산을 수행함에 따라 점차적으로 무장 할당의 최적해에 가까운 근사해로 수렴하게 된다. 그러나 특정 범위에 도달하면 중복성이 많이 발생하여 정확한 해에 대한 효율성이 낮다는 단점이 있다.

ACO 알고리즘은 실제 개미 집단이 먹이까지 가장 짧은 경로를 찾는 것을 모방한 최적화 알고리즘이다[5]. ACO 알고리즘을 이용해 무장 할당의 최적해를 도출하는 연구가 제시되었으나[6][7], 이는 일반적으로 긴 탐색 시간이 필요하며 정체 현상에 빠지기 쉬우므로 대규모 무장 할당을 수행할 경우에는 단시간 내에 최적의 무장 할당을 찾아내기가 어렵다는 단점이 있다. [8]은 ACO 기반의 무장 할당의 최적해 산출 속도를 향상시키기 위해서 병렬 처리를 적용한 ACO 기반의 대규모 무장 할당 알고리즘을 제안하였다.

단일 최적화 기법을 사용한 무장 할당 알고리즘의 단점을 극복하기 위해 다양한 최적화 기법을 조합한 하이브리드 무장 할당 알고리즘에 대해서 연구되고 있다 [9][10]. GA와 ACO를 조합한 최적화 기반의 무장 할당 알고리즘[9], GA와 SA를 조합한 최적화 기반의 무장 할당 알고리즘[10] 등이 제안되었다. 더불어, 이러한 큰 연구 흐름과 별개로 시간 차원을 추가하여 최단시간 내에 무장을 연속 발사하기 위한 연구도 제안되었다[11].

무장 할당은 NP-완전(NP-complete) 문제에 속하므로, 표적 및 무장의 수가 증가함에 따라 최적해를 찾기 위한 연산량이 기하급수적으로 증가한다는 문제점이 있다. 기존의 무장 할당 알고리즘의 연구는 최적의 해를 도출하기 위한 방법만을 고려했을 뿐 다표적-다무장 환경에서 신속 대응 관점에서 효율적인 방법은 제시되지 않아, 기존 방법을 적시에 적용 타격하기 위한 신속 대응 무기 체계 개발에 적용하는 것은 적합하지 않다는 한계점이 있다. 이러한 기존 무장 할당 알고리즘 연구의 비효율성을 개선하는 것은 매우 중요한 문제이다. 따라서 낮은 복잡도로 최소한의 연산을 수행하여 무장 할당을 신속하게 도출하기 위한 연구가 필수적이다. 이를 위해, 본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서

신속 대응을 위한 무장 할당 알고리즘 연구를 진행한다.

III. 시스템 모델

본 논문은 아래와 같은 대지 공격 무장 환경을 기반으로 한다. 지구중심좌표계(ECEF; Earth Centered Earth Fixed)에서 전체 표적의 개수가 T_{Nm} 일 때, 전체 표적의 위치는 식 (1)과 같은 행렬 \mathbf{T} 로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_{1x} & t_{1y} & t_{1z} \\ t_{2x} & t_{2y} & t_{2z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{ix} & t_{iy} & t_{iz} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{T_{Nm}x} & t_{T_{Nm}y} & t_{T_{Nm}z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 전체 표적의 위치 행렬 \mathbf{T} 는 $(T_{Nm} \times 3)$ 크기를 가지며, t_{ix} 는 i 번째 표적의 x 좌표, t_{iy} 는 i 번째 표적의 y 좌표를, t_{iz} 는 i 번째 표적의 z 좌표를 뜻한다. 따라서, i 번째 표적의 위치는 전체 표적 위치 행렬 \mathbf{T} 의 i 번째 행벡터인 $\mathbf{v}_i = [t_{ix}, t_{iy}, t_{iz}]$ 로 나타낼 수 있다.

전체 무장군 수가 B_{Nm} 일 때, b 번째 무장군 g_b 의 가용 무장 수가 L_{g_b} 라면, 총 가용한 무장의 수는

$$\sum_{b=1}^{B_{Nm}} L_{g_b} = L_{Nm} \text{이며, 전체 무장의 위치는 식 (2)와 같은}$$

행렬 \mathbf{L} 로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} l_{1x} & l_{1y} & l_{1z} \\ l_{2x} & l_{2y} & l_{2z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{jx} & l_{jy} & l_{jz} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{L_{Nm}x} & l_{L_{Nm}y} & l_{L_{Nm}z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 전체 무장의 위치 행렬 \mathbf{L} 은 $(L_{Nm} \times 3)$ 크기를 가지며, l_{jx} 는 j 번째 무장의 x 좌표, l_{jy} 는 j 번째 무장의 y 좌표를, l_{jz} 는 j 번째 무장의 z 좌표를 뜻한다. 따라서, j 번째 무장의 위치는 전체 무장의 위치 행렬 \mathbf{L} 의 j 번째 행벡터인 $\mathbf{w}_j = [l_{jx}, l_{jy}, l_{jz}]$ 로 나타낼 수 있다. 무장

군은 동일한 효과를 가지는 무장들로 구성되어있는 것으로 가정한다.

표적과 무장 간의 거리 산출 및 표적과 무장 간의 방위각 산출 방법은 아래와 같다. i 번째 표적과 j 번째 무장 간의 거리 d_{t_i,l_j} 는 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$d_{t_i,l_j} = \| \mathbf{v}_i - \mathbf{w}_j \| \quad (3)$$

i 번째 표적과 j 번째 무장 간의 방위각 ψ_{t_i,l_j} 은 식 (4)와 같이 산출할 수 있다.

$$\psi_{t_i,l_j} = \text{atan2}(t_{ix} - l_{jx}, t_{iy} - l_{jy}) \quad (4)$$

i 번째 표적의 종류에 따른 표적 가중치가 w_{t_i} 인 경우, i 번째 표적의 위협도 E_{t_i} 는 식 (5)와 같이 산출할 수 있다.

$$E_{t_i} = w_{t_i} / d_{t_i,l_j} \quad (5)$$

IV. 제안하는 알고리즘

본 장에서는 다표적-다무장 환경에서 신속 대응 무기 체계를 위한 무장 할당 알고리즘을 제안한다. 기존의 무장 할당 알고리즘은 표적 및 무장의 수가 증가할 경우 최적해를 도출하기 위한 연산이 기하급수적으로 증가한다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 대규모 무장 할당 문제의 불합리한 효율성을 개선하기 위해, 복잡도 낮은 연산으로 무장-표적 할당을 도출하기 위한 방위각 및 위협도 기반의 무장 할당 알고리즘을 제안한다.

[그림 1]은 제안하는 무장 할당 수행 흐름도를 나타낸다. 무장군 별 방위각 크기 기준으로 표적 정렬을 전체 무장군 수 B_{Nmax} 만큼 반복하여, 방위각 기준으로 표적군-무장군 간 집단 할당을 수행한다. 이후, 산출된 표적의 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행한다.

[그림 2]는 방위각 기준으로 표적군-무장군 간 집단 할당의 예를 나타낸다. 무장군 별 방위각 크기 기준으

로 표적을 정렬한 뒤, 사격 가능한 표적 수만큼 표적을 순차적으로 할당받아 표적군을 생성한다. 무장군은 이전 무장군들이 할당받지 않은 표적 중 사거리 이내에 위치하는 표적을 할당받는다. [그림 3]은 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당의 예를 나타낸다. 할당받은 표적군에 포함되는 표적들을 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행한다. 산출된 위협도가 가장 큰 표적에 대해 우선적으로 무장 할당 및 발사 순서를 생성한다.

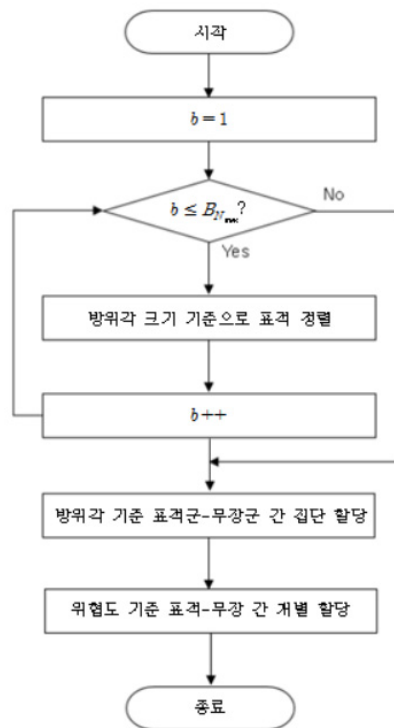


그림 1. 무장 할당 흐름도

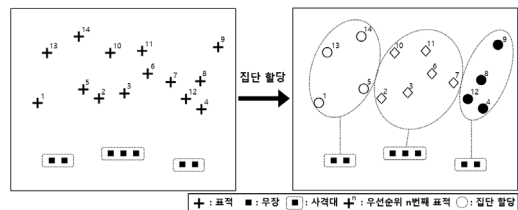


그림 2. 방위각 기준 무장군-표적군 간 집단 할당의 예

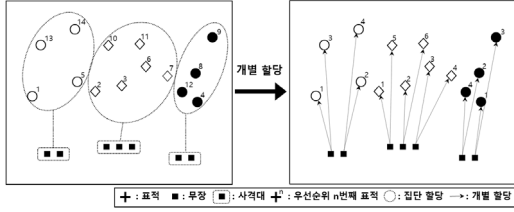


그림 3. 위협도 기준 무장-표적 간 개별 할당의 예

b 번째 무장군 g_b 와 모든 표적 간의 방위각 크기순으로 정렬할 때, g_b 의 정렬된 표적 벡터 \mathbf{S}_{g_b} 는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{S}_{g_b} = \begin{bmatrix} t_{\text{sorted-}g_b,1} \\ t_{\text{sorted-}g_b,2} \\ \vdots \\ t_{\text{sorted-}g_b,i} \\ \vdots \\ t_{\text{sorted-}g_b,T_{Nm}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 \mathbf{S}_{g_b} 는 $(T_{Nm} \times 1)$ 크기를 가지며, i 번째 성분 $t_{\text{sorted-}g_b,i}$ 는 i 번째 방위각 크기를 가지는 표적을 의미한다. 방위각을 크기순으로 표적 정렬하는 방법은 아래와 같다.

g_b 와 모든 표적 간의 방위각 집합은 식 (7)과 같다.

$$\Omega_{g_b} = \{\psi_{t_i, g_b} | 1 \leq i \leq T_{Nm}\} \quad (7)$$

g_b 와 가장 큰 방위각을 가지는 표적 $t_{\text{sorted-}g_b,1}$ 은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{\text{sorted-}g_b,1} = \arg \max_i \{\psi_{t_i, g_b}\}, \text{ where } \psi_{t_i, g_b} \in \Omega_{g_b} \quad (8)$$

i 번째 방위각 크기를 가지는 표적 $t_{\text{sorted-}g_b,i}$ 는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} t_{\text{sorted-}g_b,i} &\in \Gamma_{g_b}, \dot{\Omega}'_{g_b} = \{\psi_{t_i, g_b} | 1 \leq i \leq T_{Nm}, i \notin \Gamma_{g_b}\} \\ t_{\text{sorted-}g_b,i+1} &= \arg \max_i \{\psi'_{t_i, g_b}\}, \text{ where } \psi'_{t_i, g_b} \in \dot{\Omega}'_{g_b} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 Γ_{g_b} 는 g_b 의 내림차순으로 정렬한 방위각 집합을 뜻하며, 식 (9)를 T_{Nm} 만큼 반복하여 모든 표적에 대해서 내림차순 정렬할 수 있다. 위의 과정을 가용한 무장군 수 B_{Nm} 만큼 반복 수행하여, 각 무장군 별 산출된 방위각 크기 기준으로 표적을 정렬한다.

기준이 되는 무장군부터 방위각 크기순으로 표적이 정렬된 방위각 벡터 \mathbf{S}_{g_b} 기준으로 사격 가능한 표적 수 만큼 표적을 순차적으로 할당받는다. 무장군은 이전 무장군들이 할당받지 않은 표적 중 사거리 d_{range} 이내에 위치하는 표적을 할당받아야하며, g_b 가 할당받는 표적군 집합 \mathbf{X}'_{g_b} 는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{X}'_{g_b} = \{t'_{g_b,i} | d_{t'_{g_b,i}, b} \leq d_{range}, 1 \leq i \leq N_{g_b}, t'_{g_b,i} \notin \mathbf{X}'_{g_b-1}\} \quad (10)$$

여기서 N_{g_b} ($N_{g_b} \leq L_{g_b}$)는 g_b 가 사격 가능한 표적 수를 뜻하며, $t'_{g_b,i}$ 는 g_b 가 i 번째로 할당받은 표적을 의미한다. 또한, $d_{t'_{g_b,i}, g_b}$ 는 $t'_{g_b,i}$ 와 g_b 간의 거리를 뜻하며, 첫 번째 무장군부터 $b-1$ 번째 무장군까지에 할당된 표적군들의 집합 \mathbf{X}'_{g_b-1} 은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{X}'_{g_b-1} = \mathbf{X}'_{g_1} \cup \mathbf{X}'_{g_2} \cup \dots \cup \mathbf{X}'_{g_b-1} \quad (11)$$

위의 과정을 B_{Nm} 만큼 반복 수행하여, 모든 표적군-무장군 간 집단 할당을 수행한다.

g_b 는 할당받은 표적군 집합 \mathbf{X}'_{g_b} 에 포함되는 표적들을 위협도 $E_{t'_{g_b,i}}$ 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행한다. 산출된 위협도 $E_{t'_{g_b,i}}$ 가 가장 큰 표적에 대해 우선적으로 무장 할당 및 발사 순서를 생성한다.

g_b 에서 위협도 $E_{t'_{g_b,i}}$ 가 가장 큰 표적 $t_{\text{firing-}g_b,1}$ 는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{\text{firing-}g_b,1} = \arg \max_i \{E_{t'_{g_b,i}}\}, \text{ where } t'_{g_b,i} \in \mathbf{X}'_{g_b} \quad (12)$$

i 번째로 큰 위협도를 가지는 표적 $t_{firing-g_b,i}$ 는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{firing-g_b,i} \in A_{g_b}, Y_{g_b} = \{t_{g_b,i} | 1 \leq i \leq N_{g_b}, i \notin A_{g_b}\} \quad (13)$$

$$t_{firing-g_b,i+1} = \arg \max_i \{E_{t_{g_b,i}}\}, \text{ where } t_{g_b,i} \in Y_{g_b}$$

여기서 A_{g_b} 는 g_b 의 위협도 기준으로 정렬한 표적 집합을 뜻하며, 식 (13)을 N_{g_b} 만큼 반복하여 할당받은 모든 표적에 대해서 위협도 기반으로 표적-무장 개별 할당 및 사격을 수행한다.

위와 같이 방위각 및 위협도 기준의 2단계 무장 할당 알고리즘으로 기존 무장 할당 알고리즘의 반복 연산에 따른 불합리한 효율성을 개선할 수 있으며, 낮은 복잡도의 최소화된 연산으로 다표적-다무장 환경에서 신속 대응 무기 체계를 위한 무장-표적 할당 도출이 가능하다.

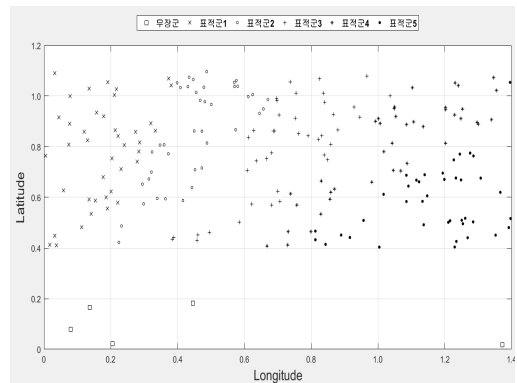
V. 성능 평가

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 Matlab R2016a[12]을 기반으로 하여, [표 1]과 같은 가상의 대지 공격 무장 환경을 구성하여 수행하였다.

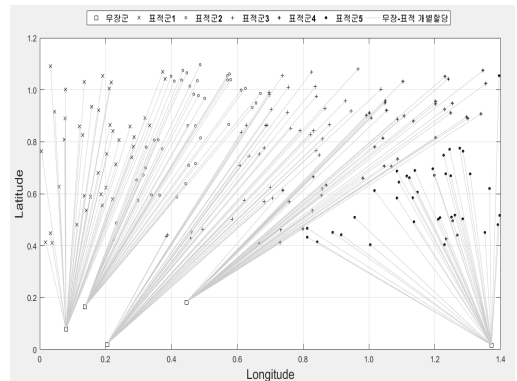
[그림 4]는 다양한 가상 환경에서의 집단 할당 및 개별 할당 결과를 나타낸다. [그림 4]에서 i)는 무장군-표적군 집단 할당을 나타내며, ii)는 무장-표적 개별 할당을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이, 제안하는 알고리즘은 무장군 별 방위각 크기 기준으로 표적을 정렬하고, 이를 기반으로 무장의 사거리 및 표적과 무장군 간의 방위각을 기준으로 표적군을 설정하는 집단 할당을 수행한다. 이후 할당받은 표적군에 포함되는 표적들의 위협도 기준으로 무장-표적 간 개별 할당을 수행한다. 성능 평가 결과, 본 알고리즘은 임의의 위치에 표적 및 무장군을 생성하는 가상 환경에서도 집단 할당 및 개별 할당이 정상적으로 수행되었으며, 다양한 가상 환경에서의 반복 수행에 따른 정상 결과를 확인함으로써 본 알고리즘의 신뢰성을 확인하였다.

표 1. 성능 평가 환경

파라미터	값
표적의 수 T_{Nm} (개)	100~600
표적 생성 범위 ((LAT_1, LON_1) ~ (LAT_2, LON_2))	(0.4, 0.0) ∞ (1.2, 1.4)
무장군의 수 B_{Nm} (개)	5/10
무장군 생성 범위 ((LAT_1, LON_1) ~ (LAT_2, LON_2))	(0.0, 0.0) ∞ (0.2, 1.4)
무장군 당 가용 무장의 수 L_{g_b} (개)	T_{Nm}/B_{Nm}
표적 및 무장군 분포 형태	균일
표적 가치치 w_{t_i}	$0 < w_{t_i} \leq 1$
시뮬레이션 반복 횟수(회)	1000

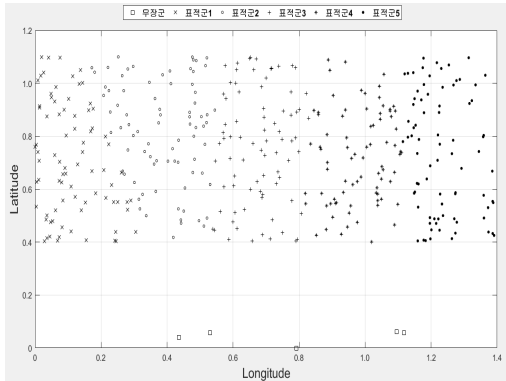


i) 집단 할당

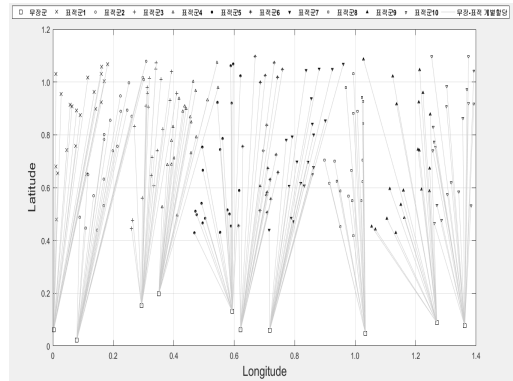


ii) 개별 할당

a) $B_{Nm} = 5 / T_{Nm} = 200$

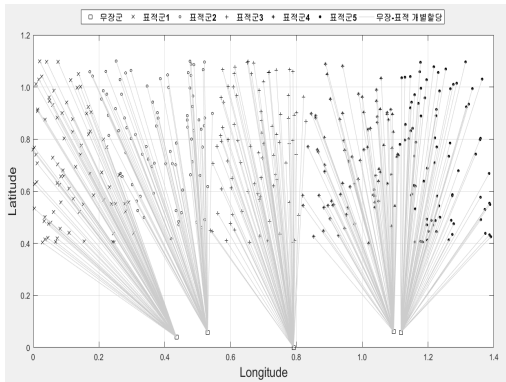


i) 집단 할당



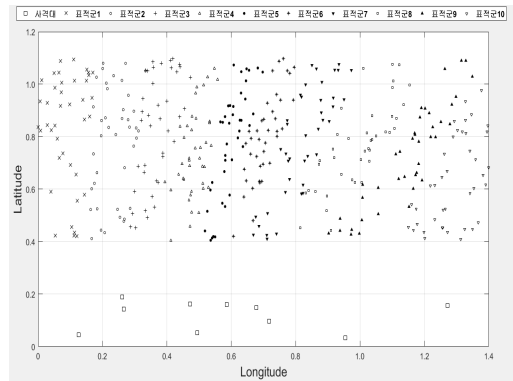
ii) 개별 할당

c) $B_{Nm} = 10 / T_{Nm} = 200$

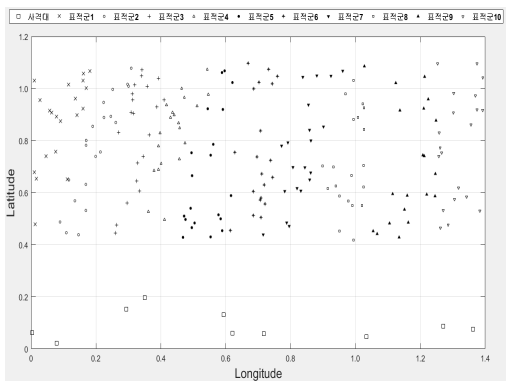


ii) 개별 할당

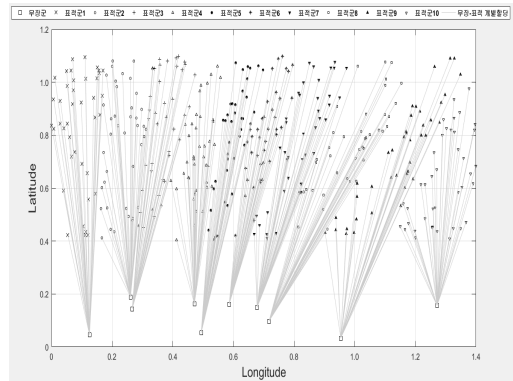
b) $B_{Nm} = 5 / T_{Nm} = 400$



i) 집단 할당



i) 집단 할당



ii) 개별 할당

d) $B_{Nm} = 10 / T_{Nm} = 400$

그림 4. 가상 환경에서의 집단 할당 및 개별 할당

[그림 5]는 표적 수 증가에 따른 평균 표적 할당율 (Hit Ratio)을 나타낸다. 제안하는 알고리즘은 표적 수나 무장군 수가 증가하는 경우에도 98% 이상의 높은 평균 표적 할당율을 보였다. 이를 통해, 대규모의 전장 환경에서도 무장 할당이 가능함을 확인하였다.

[그림 6]은 제안하는 알고리즘의 평균 수행 시간을 나타낸다. 성능평가 결과, 표적 및 무장의 수가 증가하는 경우에도 평균 수행시간의 증가는 크지 않음을 확인하였다. 제안하는 알고리즘에서는 방위각 및 위협도 기준의 무장 할당 알고리즘으로 기존 알고리즘에서의 반복 연산을 개선함으로써 복잡도를 낮추고 연산량을 감소시키는 것이 가능하다.

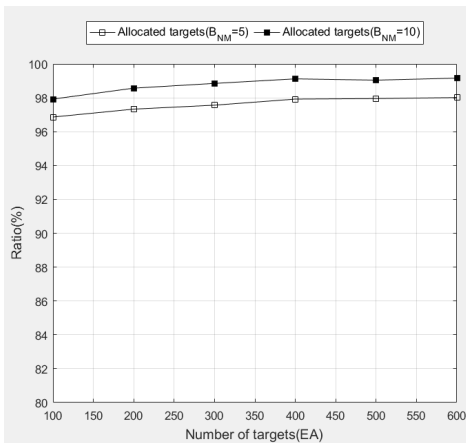


그림 5. 표적 수 증가에 따른 평균 표적 할당율

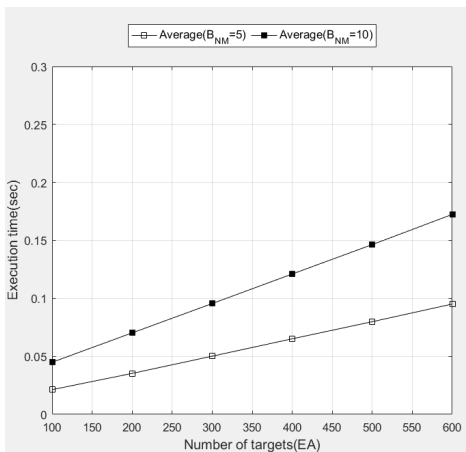


그림 6. 표적 수 증가에 따른 평균 수행 시간

성능 평가 결과, 제안하는 알고리즘은 대규모의 표적이 배치된 전장 환경에서도 빠른 무장 할당이 가능함을 입증하였으며, 신속 대응 무기 체계에서의 활용 가능성을 확인하였다. 성능 평가를 통해 제안하는 알고리즘은 다수의 무장 및 표적이 존재하는 환경에서도 복잡도 낮은 최소화된 연산으로 적시에 효과적인 대규모 무장 할당의 수행이 가능함을 입증하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 신속 대응을 위한 무장 할당 알고리즘을 제안하였다. 기존 무장 할당 알고리즘의 경우, 최적의 해를 도출하기 위한 많은 연산을 필요로 하며, 이는 신속한 사격 계획을 수립하는데 과도한 지연을 초래한다. 본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 신속 대응 무기 체계 개발에 적용할 수 있도록 최단 시간 내에 사격 계획을 도출하기 위한 연산을 최소화하는 무장 할당 방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘에서는 무장군 별 방위각 크기 기준으로 표적을 정렬하여 방위각 기준으로 표적군-무장군 간 집단 할당을 수행한 후, 산출된 표적의 위협도 기준으로 표적-무장 간 개별 할당을 수행하여 복잡도 낮은 연산으로 신속 대응이 가능한 사격 계획을 수립하여 교전 효과를 극대화한다. 제안하는 알고리즘은 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증 수행하였으며 높은 효율성 및 효과를 확인하였다. 향후 연구로는 무장 장치에 실제 적용을 통해 그 효율성 및 우수성을 확인하는 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Azak and A. Bayrak, "A New Approach for Threat Evaluation and Weapon Assignment Problem, Hybrid Learning with Multi-Agent Coordination," Proc. of the International Symposium on Computer and Information

- Sciences, pp.1-6, 2008.
- [2] S. Sivanandam and S. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer, 2009.
- [3] P. Li, L. Wu and F. Lu, "A Mutation-Based GA for Weapon-Target Allocation Problem Subject to Spatial Constraints," Proc. of the International Workshop on Intelligent Systems and Applications, pp.1-4, 2009.
- [4] G. Shang, Z. Zaiyue, Z. Xiaoru, and C. Cungen, "Immune Genetic Algorithm for Weapon-Target Assignment Problem," Proc. of the Workshop on Intelligent Information Technology Application, pp.145-148, 2017.
- [5] K. Doerner, W. Gutjahr, R. Hartl, C. Strauss, and C. Stummer, "Pareto Ant Colony Optimization: A Metaheuristic Approach to Multiobjective Portfolio Selection," *Annals of Operations Research*, Vol.131, Issue.1-4, pp.79-99, 2004.
- [6] Y. Li, Y. Kou, Z. Li, A. Xu, and Y. Chang, "A Modified Pareto Ant Colony Optimization Approach to Solve Biobjective Weapon-Target Assignment Problem," *International Journal of Aerospace Engineering*, Vol.2017, Article ID.1746124, pp.1-14, 2017.
- [7] G. Shang, "Solving Weapon-Target Assignment Problems by a New Ant Colony Algorithm," Proc. of the International Symposium on Computational Intelligence and Design, Vol.2, pp.221-224, 2008.
- [8] S. Chen, J. He, and H. Liu, "Realization and Simulation of Parallel Ant Colony Algorithm to Solve WTA Problem," In Proc. of the International Conference on Systems and Informatics, pp.2458-2461, 2012.
- [9] J. Zhang and X. Wang, "ACGA Algorithm of Solving Weapon-Target Assignment Problem," *Open Journal of Applied Sciences*, Vol.2, No.4B, pp.74-77, 2012.
- [10] S. Bisht, "Hybrid Genetic-Simulated Annealing Algorithm for Optimal Weapon Allocation in Multilayer Defence Scenario," *Defence Science Journal*, Vol.54, No.3, pp.395-405, 2004.
- [11] 이준복, *다수무장-다수표적에 대한 실시간 동적 교전 할당 알고리즘 연구*, 한국과학기술원, 2009.
- [12] <http://www.mathworks.com>, 2018.7.2.

저 자 소 개

윤 문 형(Moonhyung Yoon)

정회원



- 2012년 2월 : 이화여자대학교 전자정보통신공학과(공학사)
- 2014년 8월 : 서울대학교 전기과(공학석사)
- 2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야> : 국방시스템, 실시간 임베디드 시스템, 무선 통신, 리소스 스케줄링 등