

# 다표적-다무장 환경에서 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘

An Intersection Validation and Interference Elimination Algorithm  
between Weapon Trajectories in Multi-target and Multi-weapon Environments

윤문형, 박준호, 이정훈, 김갑수, 구봉주  
국방과학연구소

Moonhyung Yoon(moonshine0129@gmail.com), Junho Park(arionfit@naver.com),  
JeongHoon Yi(huble@naver.com), Kapssoo Kim(kapssoo@add.re.kr),  
BongJoo Koo(tgkoo00@gmail.com)

## 요약

다표적-다무장 전장 환경에서는 다수의 무장이 동시에 발사되기 때문에 무장 간의 궤적 교차로 인한 충돌이 발생할 가능성이 항상 존재한다. 무장간 충돌은 신속한 작전 수행을 저해할 뿐만 아니라 아군 무장 자산을 무의미하게 손실시킴으로써 아군의 적군에 대한 위협 대응력을 약화시킨다. 본 논문에서는 다표적-다무장 전장 환경에서 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 무장 궤적 간 교차 분석을 통해 간섭 여부를 확인 한 후, 교차점이 발생할 경우 무장 궤적 간의 상호 간섭을 배제하는 것을 핵심으로 한다. 본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증을 수행하였다. 성능 평가 결과 제안하는 알고리즘은 표적 수 및 무장군 수와 무관하게 교차점이 존재하지 않음을 보여줌으로써 효과적인 간섭 배제를 수행함을 입증하였다.

■ 중심어 : | 사격계획 | 교차 검증 | 간섭 배제 | 무장 할당 |

## Abstract

As multiple weapons are fired simultaneously in multi-target and multi-weapon environments, a possibility always exists in the collision occurred by the intersection between weapon trajectories. The collision between weapons not only hinders the rapid reaction but also causes the loss of the asset of weapons of friendly force to weaken the responsive power against the threat by an enemy. In this paper, we propose an intersection validation and interference elimination algorithm between weapon trajectories in multi-target and multi-weapon environments. The core points of our algorithm are to confirm the possible interference through the analysis on the intersections between weapon trajectories and to eliminate the mutual interference. 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 performs effectively the interference elimination regardless of the number of targets and weapon groups by showing that no cross point exists.

■ keyword : | Fire Plan | Intersection Validation | Interference Elimination | Weapon Assignment |

## I. 서론

교전 초기에 다수의 표적에 대해 적을 신속하게 제압하기 위해서는 단 시간 내에 가능한 많은 무장을 발사할 수 있도록 효과적인 사격 계획을 수립하여 교전 효과를 극대화하는 것이 중요하다[1-3]. 다표적-다무장 환경에서는 동시에 대규모의 무장이 공중을 비행하기 때문에 무장 궤적 교차로 인한 아군 무장간 충돌 가능성이 존재한다[4]. 무장간 충돌은 사격계획을 완수하지 못하는 문제뿐만 아니라 무장 자산의 손실을 발생시켜 위협 대응력을 약화시켜 생명과 재산에 막대한 피해를 초래할 수 있다.

표적을 효과적으로 타격하기 위한 사격계획 연구의 일환으로써 무장 할당 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 무장 할당에 대한 기존 연구들은 최적 해를 찾기 위한 연구에 집중되어 있으며[5-8], 무장 할당 이후 무장 궤적 간 상호 간섭여부에 대한 연구는 초기 수준에 머무르고 있다. 기존 무장 할당 기법은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법을 제시하며 이는 무장의 발사 지연을 야기한다. 그러므로 동시 발사 가능한 무장 할당을 최대화하는 효과적인 사격 계획을 수립하는 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 다표적-다무장 환경에서 표적과 무장의 위치, 무장의 사거리, 사격선 간의 교차점 등을 고려한 효과적인 간섭 배제 알고리즘을 제안한다. 모든 3차원 무장 궤적에 대해 간섭 발생 여부를 확인하는 것은 표적 수에 따라 연산량이 기하급수적으로 증가한다. 이를 고려하여 제안하는 알고리즘에서는 무장 할당 결과로써 생성된 3차원 공간의 모든 무장 궤적을 2차원 평면으로 투영하여 사격선을 생성한 후 사격선 간 교차 발생 여부를 연산함으로써 연산을 감소시킨다. 사격선 간 교차점이 발생한 경우 간섭을 배제하여 동시 발사할 수 있는 무장 할당 수를 최대화한다. 무장 발사 이후, 잔여 표적의 존재 여부를 확인한 후 잔여 표적이 존재하지 않을 때까지 교차 검증 및 간섭 배제 후 발사를 반복 수행한다. 이를 통해, 제안하는 알고리즘은 대규모의

무장을 동시에 발사해야하는 신속 대응 무기 체계에 적용하기 불가능했던 기존 연구의 한계를 극복하는 것이 가능하다.

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

## II. 관련 연구

다표적-다무장 환경에서는 다수의 무장이 동시에 공중을 비행하기 때문에 무장 궤적 교차로 인한 무장간 충돌 가능성이 존재한다. 무장간 충돌은 사격계획을 완수하지 못하는 문제뿐만 아니라 전장상황에서 아군 진영에 심각한 안전상의 문제를 야기할 수 있다. 또한 무장 간의 상호 간섭으로 인해서 아군 무장 간의 충돌은 아군 무장 자산의 손실을 발생시켜 위협 대응력을 약화시킬 뿐만 아니라 생명과 재산에 막대한 피해를 초래할 수 있다. 이러한 다수의 표적에 다수의 무장을 할당할 때 일어날 수 있는 아군 무장 궤적 간 상호 간섭을 배제하기 위한 연구는 현재까지는 미미한 실정이다.

무장 간의 충돌이나 간섭을 피하기 위해서 궤적이 교차하는 두 무장의 발사 시간 간격을 최적화하는 기법이 제안되었다[9]. 이 기법은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법을 제시하므로 모든 무장을 동시에 발사해야하는 상황에 적용하기 어렵다는 한계가 있다. [그림 1]은 기존 기법의 예를 나타낸다. 이와 같이 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 궤적 간 간섭을 회피 할 경우, 이는 무장 발사 지연을 야기하여 신속 대응을 저해하며 단 시간 내에 최대한 많은 무장을 발사해야하는 긴급한 전시상황에 적용하기 어렵다. 또한 무장의 수가 늘어날수록 첫 무장의 발사부터 마지막 무장의 발사까지의 총 발사 소요 시간이

기하급수적으로 늘어나며, 무장과 무장 사이의 발사 간격 시간을 최적화하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 동시 발사 가능한 무장 할당을 최대화하는 효과적인 사격 계획을 수립하여 발사 소요 시간 및 작전 반응 시간을 최소화할 뿐만 아니라 발사 시간의 유연성이 향상 및 단위 시간 당 교전 효과를 극대화할 수 있는 무장 계획 간 간섭을 배제하기 위한 연구가 필요하다.

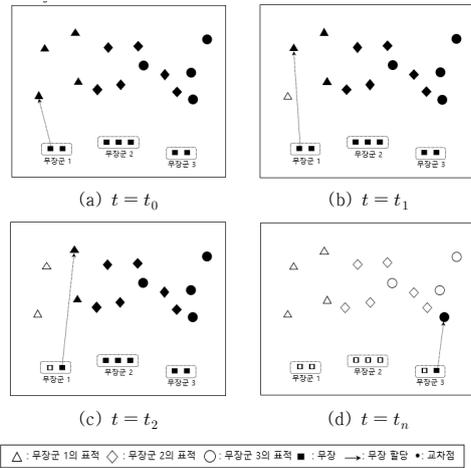


그림 1. 기존 기법의 예

위에서 언급한 것과 같이 기존의 무장 간 간섭 배제 기법은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법만을 고려했을 뿐 무장 수가 늘어나거나 모든 무장을 동시에 발사해야하는 상황에 적용하기 어려워 기존 방법을 대규모의 무장을 동시에 발사해야하는 전시 상황에 적용하는 것은 적합하지 않다는 한계점이 있다. 따라서 무장 운용의 유연성 향상 뿐만 아니라 단위 시간 당 교전 효과를 극대화하기 위한 연구가 필수적이다. 그러므로 본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 무장 계획 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘 연구를 진행한다.

### III. 시스템 모델

본 논문에서는 아래의 시스템 모델(전장 환경)을 기

반으로 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  $\sum_{b=1}^{B_{Nm}} L_{g_b} = L_{Nm}$ 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.

표적과 무장 간의 거리 산출 및 표적과 무장 간의 방위각 산출 방법은 아래와 같다.

$i$ 번째 표적과  $j$ 번째 무장 간의 거리  $d_{i,l_j}$ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

2차원 평면에 교차점이 존재하지 않으면 3차원 공간에 교차점이 존재하지 않음을 투영 이론(Projection theory)를 이용하여, 3차원 무장 궤적간의 교차 발생여부를 2차원 사격선간 교차 분석 결과로 알 수 있다.

즉 서로 다른 3차원의 점  $A(x,y,z)$ 와  $B(x',y',z')$ 가 존재할 때, 각각의 점  $A(x,y,z)$ 와  $B(x',y',z')$ 를 2차원  $xy$ 평면에 투영(Projection)한 결과는 점  $A(x,y)$ 와  $B(x',y')$ 와 같다.  $A(x,y) = B(x',y')$ 일 때  $z \neq z'$ 이라면 다른 공간에 존재하므로 점  $A(x,y)$ 와  $B(x',y')$ 는 서로 다른 점이며,  $A(x,y) \neq B(x',y')$ 이라면 2차원 평면에 교차점이 존재하지 않으면 3차원 공간에 교차점이 존재하지 않음을 뜻한다.

따라서, 2차원 평면의 사격선간 교차 발생여부를 분석하여 3차원 공간의 무장 궤적 간 교차점 발생여부를 확인 가능하며, 이를 통해 표적-무장간 궤적간의 간섭 배제가 가능하다.

#### IV. 제안하는 기법

본 장에서는 다표적-다무장 환경에서 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘을 제안한다. 기존의 무장 간 간섭 배제 기법은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법을 제시하므로 모든 무장을 동시에 발사해야하는 상황에 적용하기 어렵다는 한계가 있다. 본 논문에서는 3차원 무장 궤적간의 교차 발생여부를 2차원 사격선간 교차 분석으로 무장 간 간섭 여부를 최종적으로 확인한 후, 교차가 발생할 경우 무장 궤적 간 간섭을 배제하여 동시 발사할 수 있는 무장 할당 수를 최대화하는 무장 궤적 간의 상호 간섭 배제 알고리즘을 제안한다.

[그림 2]는 신속 대응을 위한 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제에 대한 흐름도를 나타낸다. 무장 할당에 대해서 3차원 공간의 무장 궤적을 2차원 평면으로 투영하여 사격선을 연산한 뒤 사격선 간 교차발생 여부를 연산한다. 사격선 간 교차점이 발생한 경우 간섭을 배제하여 동시 발사할 수 있는 무장 할당 수를 최대화한다. 무장 발사 이 후, 잔여 표적의 존재 여부를 확인한

후 잔여 표적이 존재하지 않을 때까지 교차 검증 및 간섭 배제 후 발사를 반복 수행한다.

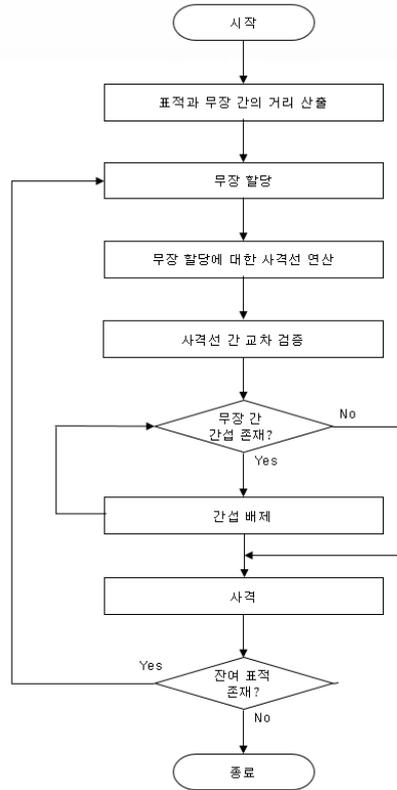


그림 2. 신속 대응을 위한 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 흐름도

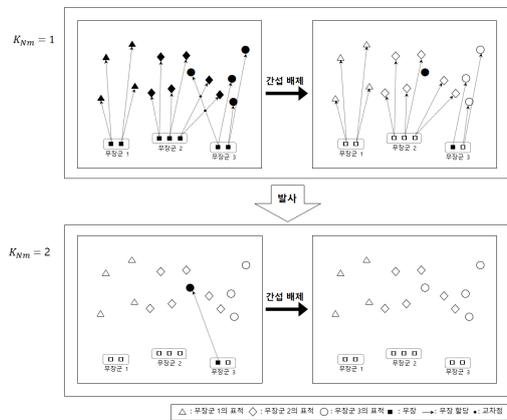


그림 3. 교차 검증 및 간섭 배제 후 발사 수행의 예

[그림 3]은 제안하는 알고리즘 수행의 예를 나타낸다. 모든 무장 할당의 3차원 궤적간의 교차 발생여부를 2차원 사격선간 교차 분석으로 확인한다. 사격선간 교차 여부를 연산 후, 교차가 발생할 경우 무장 궤적 간 간섭을 배제하여 동시 발사할 수 있는 무장 할당 수를 최대화한다. 무장 발사 이 후, 잔여 표적이 존재하지 않을 때까지 교차 검증 및 간섭 배제 후 발사를 반복 수행한다.

기준이 되는 무장군부터 사격 가능한 표적 수만큼 표적을 순차적으로 할당받는다. 무장군은 이전 무장군들이 할당받지 않은 표적 중 사거리  $d_{range}$  이내에 위치하는 표적을 할당받아야하며,  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 가 할당받는 표적군 집합  $X_{g_b}$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{g_b} = \{t'_{g_b,i} | d_{i,g_b} \leq d_{range}, 1 \leq i \leq N_{g_b}, t'_{g_b,i} \notin X'_{g_b-1}\} \quad (4)$$

여기서  $N_{g_b}$  ( $N_{g_b} \leq L_{g_b}$ )는  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 가 사격 가능한 표적 수를 뜻하며,  $t'_{g_b,i}$ 는  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 가  $i$ 번째로 할당받은 표적을 의미한다. 또한,  $d_{i,g_b}$ 는  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의  $i$ 번째 표적  $t'_{g_b,i}$ 와  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 간의 거리를 뜻하며, 첫 번째 무장군부터  $b-1$ 번째 무장군까지에 할당된 표적군들의 집합  $X'_{g_b-1}$ 은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$X'_{g_b-1} = X_{g_1} \cup X_{g_2} \cup \dots \cup X_{g_{b-1}} \quad (5)$$

모든 무장을 동시에 발사하는 최악의 경우 가정하며, 서로 다른 무장군에 속해있는 모든 표적-무장 할당의 사격선 간 교차를 연산하여 무장 간 상호 간섭여부를 확인한다. 동일 무장군에 속해있는 무장은 동일한 위치에 존재하므로, 동일 무장군에 속한 무장으로부터 생성되는 표적-무장 할당은 간섭이 발생하지 않는다.

$i$ 번째 표적이  $j$ 번째 무장에 할당되었다고 가정할 때,  $j$ 번째 무장부터  $i$ 번째 표적으로 향하는 사격선은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(t_{ix} - l_{jx})(y - l_{jy}) = (t_{iy} - l_{jy})(x - l_{jx}) \quad (6)$$

이는 아래와 같은 행렬로 표현 가능하다.

$$[(t_{iy} - l_{jy}), (t_{jx} - t_{ix})] \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = (t_{iy} - l_{jy})l_{jx} - (t_{ix} - l_{jx})l_{jy} \quad (7)$$

$i$ 번째 표적이  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의  $j$ 번째 무장  $l_j$ 에 할당( $t_i \in X_{g_b}$ ) 되었으며,  $o$ 번째 표적이  $c$ 번째 무장군  $g_c$ 의  $m$ 번째 무장  $l_m$ 에 할당( $t_o \in X_{g_c}$ ) 되었다고 가정할 때, 두 사격선간의 교차점  $C$ 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (t_{iy} - l_{jy}), (t_{jx} - t_{ix}) \\ (t_{oy} - l_{my}), (t_{ox} - t_{mx}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (t_{iy} - l_{jy})l_{jx} - (t_{ix} - l_{jx})l_{jy} \\ (t_{oy} - l_{my})l_{mx} - (t_{ox} - l_{mx})l_{my} \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 교차점  $C$ 가 발생하는  $x$ 좌표 및  $y$ 좌표의 범위는 아래 식 (9)와 같다. 식 (9)는 무장과 그 무장이 할당 받은 표적 사이의 범위를 뜻하며, 이 범위 이외에 존재하는 교차점은 무장의 궤적 밖이므로 고려하지 않는다.

$$\begin{aligned} \forall x \in [x_{\min}, x_{\max}], \forall y \in [y_{\min}, y_{\max}] \\ \text{where, } x_{\min} = \min(t_{ix}, l_{jx}, t_{ox}, l_{mx}), x_{\max} = \max(t_{ix}, l_{jx}, t_{ox}, l_{mx}) \\ y_{\min} = \min(t_{iy}, l_{jy}, t_{oy}, l_{my}), y_{\max} = \max(t_{iy}, l_{jy}, t_{oy}, l_{my}) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (10)의 조건을 만족할 때 사격선 간의 교차점  $C$ 가 존재한다.

$$\begin{aligned} \forall x \in [x_{\min}, x_{\max}], \forall y \in [y_{\min}, y_{\max}] \\ \exists C, \text{ s.t. } \begin{vmatrix} (t_{iy} - l_{jy}), (t_{jx} - t_{ix}) \\ (t_{oy} - l_{my}), (t_{ox} - t_{mx}) \end{vmatrix} \neq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

교차점  $C$ 가 존재하는 경우, 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭을 배제하여 동시 발사할 수 있는 무장 할당 수를 최대화한다. 상호 간섭이 발생하는 무장군들의 간섭을 야기하는 표적 수를 비교하여, 더 많은 간섭 표적 수를 가진 무장군을 우선적으로 발사한다.

$b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 간섭을 야기하는 표적 집합이  $I_{g_b}$  일 때,  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 간섭 표적 수는  $n(I_{g_b})$ 와 같

이 나타낼 수 있다. 만약  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 와  $b+1$ 번째 무장군  $g_{b+1}$  사이에 교차점이 발생하여 간섭이 생겼다면,  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 간섭 표적 수  $n(\mathbf{I}_{g_b})$ 와  $b+1$ 번째 무장군  $g_{b+1}$ 의 간섭 표적 수  $n(\mathbf{I}_{g_{b+1}})$ 를 비교하여 간섭 배제를 진행할 무장군을 결정한다.  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 간섭 표적 수  $n(\mathbf{I}_{g_b})$ 가  $b+1$ 번째 무장군  $g_{b+1}$ 의 간섭 표적 수  $n(\mathbf{I}_{g_{b+1}})$ 보다 작다면  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 간섭 배제를 진행한다.  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 발사 표적 집합  $\mathbf{Z}_{g_b}$ 는 식 (11)과 같다.

$$\mathbf{Z}_{g_b} = \begin{cases} \mathbf{X}_{g_b} \cap \mathbf{I}_{g_b}^C, & \text{for } n(\mathbf{I}_{g_b}) \leq n(\mathbf{I}_{g_{b+1}}) \\ \mathbf{X}_{g_b} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

위의 식 (11)의 과정을 모든 무장 할당에 대해 반복하여, 무장 궤적 간 상호 간섭이 존재하지 않고 동시 발사 무장 수를 최대화하는 사격 수행이 가능하다.

사격 수행 이후, 식 (12)와 같이 모든 무장군에 잔여 표적이 존재하지 않는지 확인한다.

$$\mathbf{R}_{g_b} = \emptyset, \text{ for } \forall b \in \{1, 2, \dots, B_{NM}\} \quad (12)$$

여기서  $\mathbf{R}_{g_b}$ 는  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 의 잔여 표적 집합을 의미하며, 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{R}_{g_b} = \mathbf{X}_{g_b} \cap \mathbf{Z}_{g_b}^C \quad (13)$$

만약  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 에 잔여 표적이 남아 있다면 식 (14)와 같이  $b$ 번째 무장군  $g_b$ 가 할당받는 표적군 집합  $\mathbf{X}_{g_b}$ 을 재설정 한 뒤, 모든 무장군에 잔여 표적이 존재하지 않을 때까지 식 (6) ~ 식 (14)를 반복 수행한다.

$$\mathbf{X}_{g_b} = \mathbf{I}_{g_b}, \text{ if } \mathbf{Z}_{g_b} \neq \mathbf{X}_{g_b} \quad (14)$$

기존 간섭 배제 알고리즘에서는 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법을

고려하였으며, 무장 발사 간격이  $k$ 초인 경우 총 기존 간섭 배제 알고리즘의 발사 소요 시간  $F_{conventional}$ 은 식 (15)와 같다.

$$F_{conventional} = (L_{Nm} - 1) \cdot k \quad (15)$$

제안하는 알고리즘의 발사 소요 시간은 다음과 같다.

(1) 무장 궤적 간 간섭이 발생하지 않은 경우의 발사 소요 시간

무장 궤적 간 간섭이 발생하지 않은 경우는 모든 무장을 동시에 발사 가능하므로 식 (16)과 같이 별도의 발사 소요 시간은 필요하지 않다.

$$F_{proposed} = 0 \quad (16)$$

(2) 무장 궤적 간 간섭이 발생한 경우의 발사 소요 시간

무장 궤적 간 간섭이 발생한 경우의 발사 소요 시간  $F_{proposed}$ 은 식 (17)과 같다.

$$F_{proposed} = (K_{Nm} - 1) \cdot k \quad (17)$$

$K_{Nm} (1 \leq K_{Nm} \leq L_{Nm})$ 은 잔여 무장이 존재하지 않을 때까지 사격 및 잔여표적 확인을 반복한 횟수를 뜻한다. [그림 4]는 발사 소요 시간의 예를 나타낸다. 기존 간섭 배제 알고리즘의 발사 소요 시간  $F_{conventional}$  대비 제안하는 알고리즘의 발사 소요 시간  $F_{proposed}$ 은 식 (18)과 같다.

$$F_{proposed} \leq F_{conventional} \quad (18)$$

$1 \leq K_{Nm} < L_{Nm}$ 일 때는 기존 간섭 배제 알고리즘 대비 발사 소요 시간 단축이 가능하며,  $K_{Nm} = L_{Nm}$ 일 때는 기존 간섭 배제 알고리즘과 동일한  $(L_{Nm} - 1) \cdot k$  초의 발사 소요 시간을 갖는다. 그러므로 제안하는 알고리즘은 발사 소요 시간 단축 및 작전 반응 시간 최소화가 가능하며, 이로 인해 무장 운용의 유연성 향상뿐만 아니라 단위 시간 당 교전 효과를 극대화할 수 있다.

위와 같이 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘으로 기존 무장 간 간섭 문제의 한계를 개선함으로써, 대규모의 무장을 동시에 발사해야하는 긴박한 전시 상황에 적용할 수 있는 무장 궤적 간의 상호 간섭 배제가 가능하다.

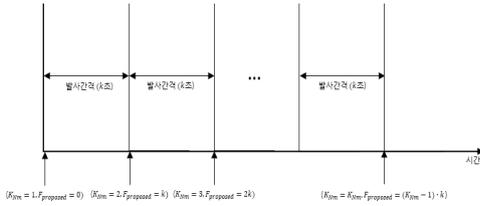


그림 4. 발사 소요 시간의 예

### V. 성능 평가

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 Matlab R2016a[10]을 기반으로 하여, [표 1]과 같은 가상 전장 환경을 구성하여 수행하였다.

표 1. 성능 평가 환경

파라미터	값
표적의 수 $T_{Nm}$ (개)	100~600
표적 생성 범위 (( $LA T_1, LON_1$ ) ~ ( $LA T_2, LON_2$ ))	(0.4, 0.0) ~ (1.1, 1.4)
무장군의 수 $B_{Nm}$ (개)	5/10
무장군 생성 범위 (( $LA T_1, LON_1$ ) ~ ( $LA T_2, LON_2$ ))	(0.0, 0.0) ~ (0.2, 1.4)
무장군 당 가용 무장의 수 $L_{y_b}$ (개)	$T_{Nm}/B_{Nm}$
총 가용한 무장의 수 $L_{Nm}$ (개)	100~600
무장 발사 간격 $k$ (초)	3
사격 및 잔여표적 확인 반복 횟수 $K_{Nm}$ (회)	1/10/20
표적, 무장군의 분포 형태	균일 분포
시뮬레이션 반복 횟수(회)	1000

[그림 5]는 표적 수 증가에 따른 평균 표적 할당율을 나타낸다. 성능 평가 결과, 표적 수가 증가하더라도 일정한 표적 할당율을 보임을 확인하였다. 성능 평가 결

과에서는 무장군 수가 많을수록 발생하는 평균 교차점 수가 적어 간섭 배제 과정을 적게 수행하므로 무장군 수가 많을수록 평균 표적 할당율이 더 높은 것으로 분석된다.

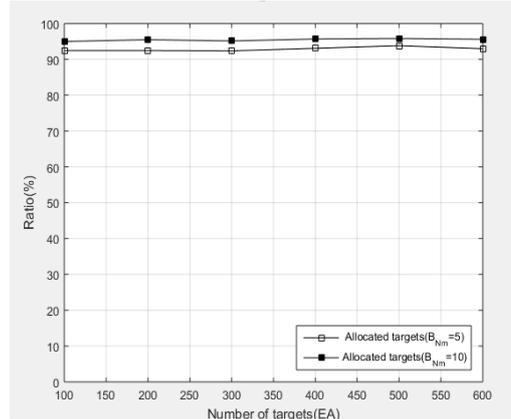


그림 5. 표적 수 증가에 따른 평균 표적 할당율

[그림 6]은 간섭 배제 전·후 표적 수 증가에 따른 평균 교차점 수를 나타낸다. 성능 평가 결과, 일반적으로 표적 수가 증감함에 따라 무장군 당 할당되는 표적 수가 증가한다. 이와는 반대로 무장군 수가 증가함에 따라 무장군 당 할당되는 표적 수가 감소한다. 결과적으로 간섭 배제 수행 전의 평균 교차점 수는 표적 수에 비례하고, 무장군 순에 반비례하는 경향을 보인다. 이러한 경향과 상관없이, 제안하는 알고리즘을 통한 간섭 배제 수행 후에 교차점이 존재하지 않음을 보임으로써 표적 수 및 무장군 수와 무관하게 효과적인 간섭 배제가 수행됨을 알 수 있다. 성능 평가 결과, 제안하는 알고리즘은 효과적인 상호 간섭 배제를 수행하는 것을 입증하였다.

[그림 7]은 기존 간섭 배제 알고리즘 및 제안하는 간섭 배제 알고리즘의 발사 소요 시간을 나타낸다. 기존 간섭 배제 알고리즘은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하므로, 발사 소요 시간은 총 가용 무장 수에 비례하여 증가한다. 반면, 제안하는 알고리즘은 잔여 무장이 존재하지 않을 때까지 사격 및 잔여표적 확인을 반복한 횟수에 비례하여 발사 소요 시간이 증가한다. 특히, 무장 궤적 간 간섭이 발생하지 않은 경우( $K_{Nm} = 1$ )는 모든 무장을 동시에 발사 가능

하므로 별도의 발사 소요 시간은 필요하지 않다. 성능 평가 결과, 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 발사 소요 시간 및 작전 반응 시간의 큰 단축이 가능함으로 확인하였으며, 이로 인한 무장 운용의 유연성 향상뿐만 아니라 단위 시간 당 교전 효과의 극대화 가능성을 입증하였다.

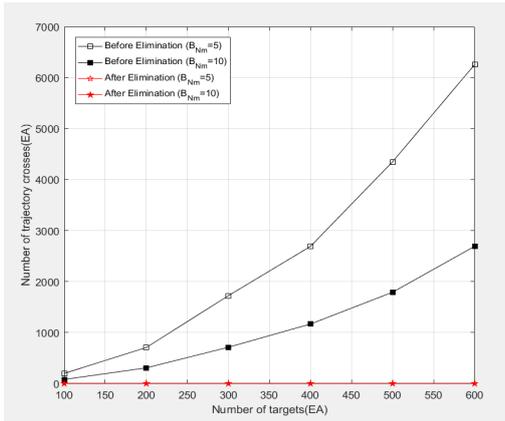


그림 6. 간섭 배제 전·후의 표적 수 증가에 따른 평균 교차점 수

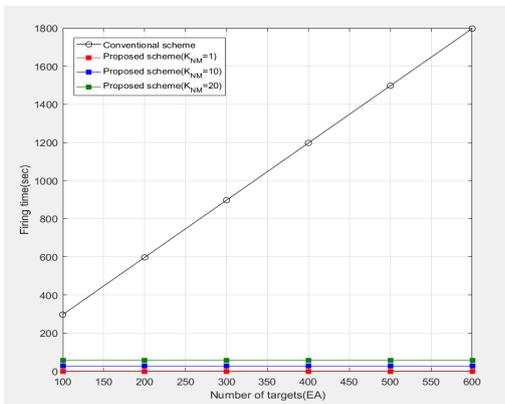


그림 7. 기존 및 제안하는 간섭 배제 알고리즘의 발사 소요 시간

## VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 다표적-다무장 환경에서 무장 궤적 간 교차 검증 및 간섭 배제 알고리즘을 제안하였다. 기

존 무장 궤적 간 간섭 배제 기법은 무장의 발사 간격을 조절하여 무장 간의 충돌이나 간섭을 회피하는 방법을 제시하므로 대규모의 무장을 동시에 발사해야하는 상황에 적용하기 어려우며, 이는 무장 발사 지연을 야기하여 신속 대응을 저해하는 요인이라 볼 수 있다. 제안하는 알고리즘에서는 3차원 무장 궤적간의 교차 발생 여부를 2차원 사격선간 교차 분석으로 무장 간 간섭 여부를 최종적으로 확인한 후, 교차가 발생할 경우 무장 할당을 해제함으로써 무장 궤적 간 교차를 원천적으로 차단한다. 이를 통해, 동시 발사할 수 있는 무장 할당수를 최대화하는 효과적인 사격 계획을 수립하고 교전 효과를 극대화한다. 제안하는 알고리즘은 시뮬레이션 및 가시화를 통해 성능 평가 및 검증을 수행하였으며 높은 효율성 및 효과를 확인하였다. 향후 연구로는 이동 표적에 대한 실시간 무장 궤적 간 간섭 배제 알고리즘의 연구와 제안하는 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 다양한 환경에서의 성능 평가를 수행하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Paradis, A. Benaskeur, M. Oxenham, and P. Cutler, "Threat Evaluation and Weapons Allocation in Network-Centric Warfare," In Proc. of the International Conference on Information Fusion, Vol.2, pp.1078-1085, 2005.
- [2] J. Roux and J. Vuuren, "Threat Evaluation and Weapon Assignment Decision Support: A Review of the State of the Art," ORION, Vol.23, No.2, pp.151-187, 2007.
- [3] M. Azak and A. Bayrak, "A New Approach for Threat Evaluation and Weapon Assignment Problem, Hybrid Learning with Multi-Agent Coordination," In Proc. of the International Symposium on Computer and Information Sciences, pp.1-6, 2008.
- [4] M. Yoon, J. Park, J. Yi, and B. Koo, "An Effective Weapon Assignment Algorithm in Multi-Target and Multi-Weapon," In Proc. of the International Conference on Convergence

Content, pp.395-396, 2016.

[5] 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.

[6] 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.

[7] G. Shang, Z. Zaiyue, Z. Xiaoru, and C. Cungen, "Immune Genetic Algorithm for Weapon-Target Assignment Problem," In Proc. of the Workshop on Intelligent Information Technology Application, pp.145-148, 2017.

[8] 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.

[9] M. Zhang, J. Zhang, G. Cheng, C. Chen, and Z. Liu, "Fire Scheduling for Multiple Weapons Cooperative Engagement," In Proc. of the International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Applications, pp.55-60, 2016.

[10] <http://www.mathworks.com>, 2018.7.31.

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

박 준 호(Junho Park)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학부(공학사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)

▪ 2014년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원  
<관심분야> : 국방시스템, 빅데이터, 인공지능, 실시간 임베디드 시스템, 데이터베이스 시스템, 무선 센서 네트워크 등

이 정 훈(JeongHoon Yi)

정회원



- 1999년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 멀티미디어공학과(공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> : 국방시스템, 인공지능, 패턴인식, 영상인식, 생체정보인식 등

김 갑 수(Kapsoo Kim)

정회원



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 전북대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> : 국방시스템, 실시간 임베디드 시스템 등

구 봉 주(BongJoo Koo)

정회원



- 1990년 2월 : KAIST 전자전산학부(공학사)
- 2006년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> : 국방시스템, 무선 센서 네트워크, 소프트웨어 테스트, Fault Tolerant, Safety 등