



Received: 2024/08/31
Revised: 2024/09/07
Accepted: 2024/09/28
Published: 2024/09/30

***Corresponding Author:**

Sejun Lee

Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1

333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea

Tel: +82-31-5179-4996

Fax: +82-31-5179-7088

E-mail: sejun.lee@lignex1.com

근거리 고속표적의 교전 시 예상 요격 지점 산출 알고리즘

Predicted Impact Point Calculation Algorithm in the Engagement for Close Range and High Speed Target

이세준^{1*}, 신일섭¹, 한창현¹, 나범철²

¹LIG넥스원 PGM통제기술연구소 선임연구원

²LIG넥스원 PGM통제기술연구소 수석연구원

Sejun Lee^{1*}, Ilseob Shin¹, Changhyun Han¹, Beomcheol Na²

¹Research engineer, Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1

²Chief research engineer, Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1

Abstract

본 논문은 근거리 고속표적의 교전 상황에서 발사대를 기준으로 표적의 침로에 따른 예상 요격 지점을 산출하는 알고리즘을 설계하였다. 이를 검증하기 위해 다양한 교전 상황에서의 실시간 예상 요격 지점 산출 결과를 분석하였다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 이용하면 연산 시간은 줄이고, 정확한 예상 요격 지점을 산출함으로써 최적의 무장 할당과 근거리 고속 표적의 방어 전략 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

In this paper, we propose an algorithm of predicted impact point for close range and high speed target. It is calculated according to the target's course based on launcher. To verify this, we analyzed the real-time predicted impact point calculation results in various combat situations. It is expected that the proposed algorithm can be used to reduce computation time and calculate an accurate expected interception point, which can be used to establish optimal allocation and defense strategies for short-range, high-speed targets.

Keywords

예상 요격 지점(Predicted Impact Point),
근거리 고속 표적(Close Range High Speed Target),
방어자산(Defended Assets),
발사대(Launcher),
교전가능시간(Time Window)

1. 서론

표적의 위협으로부터 방어자산을 보호하기 위해 발사대를 기준으로 표적의 기동 침로에 따라 충돌 교전 상황이 발생할 수 있다[1]. 이때, 실시간으로 표적의 침로에 따른 예상 요격 지점을 계산해야 최소 교전 거리를 확보하며 방어자산을 보호할 수 있다. 특히 표적 속도가 빠르고 다양한 패턴을 가지고 기동하는 경우에는 매 순간 예상 요격 지점을 계산하여 갱신함으로써 방어자산의 방어 신뢰도를 증가시킬 수 있다.

이러한 예상 요격 지점 산출 알고리즘은 주로 진입하는 표적에 대하여 방어하는 유도탄의 중기 유도를 위하여 계산되었고[2], 적군에 대해 아군의 방어자산이 협업 전술을 해야 하는 상황에서 예상 요격 지점까지의 도달 시간을 도출하기 위한 연구가 진행되었다[3]. 이때, 수치적 방법은 예상 요격 지점까지 표적이 도달하는 시간을 실제 수치 시뮬레이션을 통해 반복 갱신하여 획득하는 원리를 이용한다[4]. 환경 및 교전상황 특성을 반영한 시뮬레이션을 통해 정확한 예상 요격 지점 산출이 가능하지만, 연산 시간이 오래 걸릴 수 있어 실제 교전 상황에서는 사용하기 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 충돌 교전 시 예상 요격 지점을 산출하기 위한 기본적인 알고리즘을 설계하고, 다양한 시나리오에 대한 분석을 통

해 검증하였다[5]. 이때, x 를 기준으로 충돌 교전 상황에 놓인 표적의 좌표 위치가 좌측과 우측에 있는 두 가지 경우로 나누어 알고리즘을 설계하였다. 이를 통해 본 연구는 근거리 고속표적에 있어서 표적의 진입 침로와 속도를 반영하여 실시간으로 예상 요격 지점을 산출함으로써, 최적의 무장 할당과 방어자산의 방어 전략 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 예상 요격 지점 산출 알고리즘

발사대를 기준으로 표적이 충돌하는 교전 상황에 대하여 후술할 두 가지 상황으로 나누어 예상 요격 지점을 산출할 수 있다. 이때, 좌표계는 발사대를 원점으로 하는 ENU(east north up) 좌표계를 기준으로 하고, 침로는 진북을 0도로 기준으로 시계 방향으로 양의 값이 되도록 정의하였다. 발사대는 차량형으로 탑재되어 있으며 무선 통신을 통해 발사할 수 있다고 가정하였다. 또한, 발사대를 향해 비행하는 표적의 고도가 낮은 공중 위협 표적만을 가정하므로 z 축 위치는 발사대와 표적 모두 지면에 가까운 0의 값을 가져 2차원 평면상에서 알고리즘을 구성하였다.

두 가지 상황은 다음과 같다. 첫 번째 경우는 표적의 x 축 위치가 발사대 기준으로 왼편에 있는 경우이고, 두 번째는 오른편에 있는 경우이다. 두 가지로 나누어 예상 요격 지점을 산출하는 이유는 표적의 진입 침로에 따라 부호가 바뀌어 예상 요격 지점 계산에 필요한 각도 값에 차이가 발생하기 때문이다. 알고리즘 설계에 필요한 변수는 Table 1에 기술하였다. 아래첨자 c 는 발사대, t 는 표적을 의미한다.

Table 1. Parameters for calculation of predicted impact point

Parameter	Unit	Description
\vec{P}_t	m	Target position NED axis (= [x_t, y_t, z_t])
\vec{V}_t	m/s	Target velocity
α	deg	Target course
\vec{P}_c	m	Own launcher position NED axis (= [x_c, y_c, z_c])
\vec{V}_c	m/s	Own launcher velocity
β	deg	Own launcher course

c : launcher, t : target

2.1 $x_t < x_c$ 인 교전 상황

표적 위치가 발사대를 기준으로 Fig. 1과 같이 2, 3 사분면에 있는 경우, 즉 x 좌표가 좌측에 있는 경우 γ, r 은 식 (1), 식 (2)와 같이 정의된다. 여기에서 γ 는 표적과 발사대의 벡터 사잇각이고, r 는 표적과 발사대 간의 거리이다.

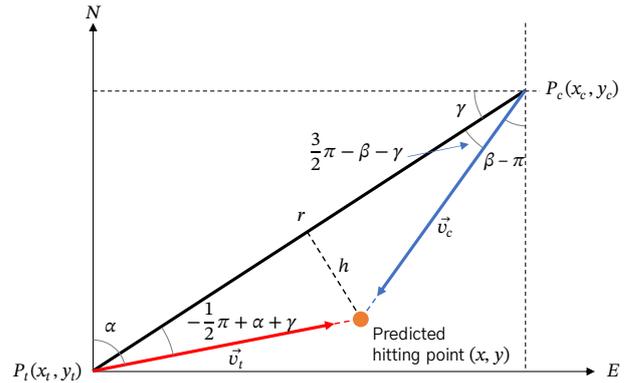


Fig. 1. Case that x position of target is located to the left of the x position of launcher

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{y_c - y_t}{x_c - x_t} \right) \tag{1}$$

$$r = \sqrt{(x_c - x_t)^2 + (y_c - y_t)^2} \tag{2}$$

또한, 기하관계에 따라 식 (3), 식 (4)의 조건을 모두 만족해야 하며 이로부터 발사대의 침로(β)와 예상 요격 지점까지의 기동 시간(t)을 산출할 수 있다.

$$h = v_t t \sin\left(-\frac{\pi}{2} + \alpha + \gamma\right) = v_c t \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \beta - \gamma\right) \tag{3}$$

$$r = v_t t \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \alpha + \gamma\right) + v_c t \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \beta - \gamma\right) \tag{4}$$

식 (3)에 의거하여 식 (5)와 같이 β 를 산출한다.

$$\beta = \frac{3\pi}{2} - \gamma - \sin^{-1} \left(\frac{v_t}{v_c} \sin\left(-\frac{\pi}{2} + \alpha + \gamma\right) \right) \tag{5}$$

식 (4)에 의거하여 식 (6)과 같이 예상 요격 지점까지의 기동 시간 t 를 산출한다.

$$t = \frac{r}{v_t \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \alpha + \gamma\right) + v_c \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \beta - \gamma\right)} \tag{6}$$

2.2 $x_t \geq x_c$ 인 교전 상황

표적 위치가 발사대를 기준으로 Fig. 2와 같이 1, 4 사분면에 있는 경우, 즉 x 좌표가 우측에 있는 경우 γ, r 은 식 (7), 식 (8)과 같이 정의된다.

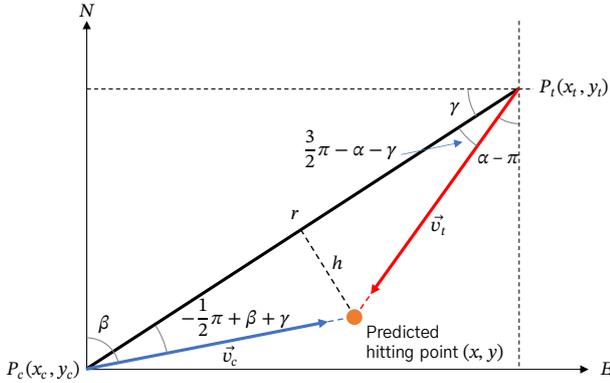


Fig. 2. Case that x position of target is located to the right of the x position of launcher

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{y_t - y_c}{x_t - x_c} \right) \quad (7)$$

$$r = \sqrt{(x_c - x_t)^2 + (y_c - y_t)^2} \quad (8)$$

또한, 기하관계에 따라 식 (9), 식 (10)의 조건을 모두 만족해야 하며 이로부터 발사대의 침로(β)와 예상 요격 지점까지의 기동 시간(t)을 산출할 수 있다.

$$h = v_t t \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \gamma \right) = v_c t \sin \left(-\frac{\pi}{2} + \beta + \gamma \right) \quad (9)$$

$$r = v_t t \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \gamma \right) + v_c t \cos \left(-\frac{\pi}{2} + \beta + \gamma \right) \quad (10)$$

식 (9)에 의거하여 식 (11)과 같이 β 를 산출한다.

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \gamma + \sin^{-1} \left(\frac{v_t}{v_c} \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \gamma \right) \right) \quad (11)$$

식 (10)에 의거하여 식 (12)와 같이 예상 요격 지점까지의 기동 시간 t 를 산출한다.

$$t = \frac{r}{v_t \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \alpha - \gamma \right) + v_c \cos \left(-\frac{\pi}{2} + \beta + \gamma \right)} \quad (12)$$

이로부터 예상 요격 지점 위치(x, y)는 식 (13)과 같이 산출 가능하다.

$$\begin{cases} x = x_t + v_t \sin \alpha t = x_c + v_c \sin \beta t \\ y = y_t + v_t \cos \alpha t = y_c + v_c \cos \beta t \end{cases} \quad (13)$$

3. 검증 및 분석

2장에서 기술한 예상 요격 지점 산출 알고리즘을 검증하기 위해 Tables 2-3와 같이 시나리오를 설정하였다. Table 2는 표적의 x 좌표가 발사대의 좌측에 위치하여 진입하는 경우, Table 3는 표적의 x 좌표가 발사대의 우측에 위치하여 퇴각하는 경우이다. 이때, 발사대의 기동 속력인 v_c 가 표적의 기동 속력인 v_t 보다 빨라야 표적을 요격할 수 있기 때문에 $v_c > v_t$ 인 조건이 되도록 시나리오를 설정하였다.

Table 2. Scenario for validation of predicted impact point calculation result that x position of target is located to the left of the x position of launcher

Parameter	Unit	Value
\vec{P}_t	m	[-2000 2000 0]
\vec{v}_t	m/s	10
α	deg	130
\vec{P}_c	m	[0 0 0]
\vec{v}_c	m/s	20

c: launcher, t: target

Table 3. Scenario for validation of predicted impact point calculation result that x position of target is located to the right of the x position of launcher

Parameter	Unit	Value
\vec{P}_t	m	[1000 500 0]
\vec{v}_t	m/s	10
α	deg	50
\vec{P}_c	m	[0 0 0]
\vec{v}_c	m/s	20

c: launcher, t: target

각각의 시나리오에 대한 결과는 Figs. 3-4에 도시

한 바와 같다. 예상 요격 지점 산출 결과는 Table 4에 기술하였다. 시나리오 1번의 경우 표적이 발사대의 좌측에서 진입하는 경우로 Fig. 3와 같이 2배 빠른 발사대의 속도만큼의 지점에서 예상 요격이 가능한 것을 확인할 수 있다. 시나리오 2번의 경우 표적이 발사대의 우측에 위치하여 우측으로 퇴각하는 경우로 Fig. 4와 같이 발사대를 따라잡아 요격함을 확인하였다.

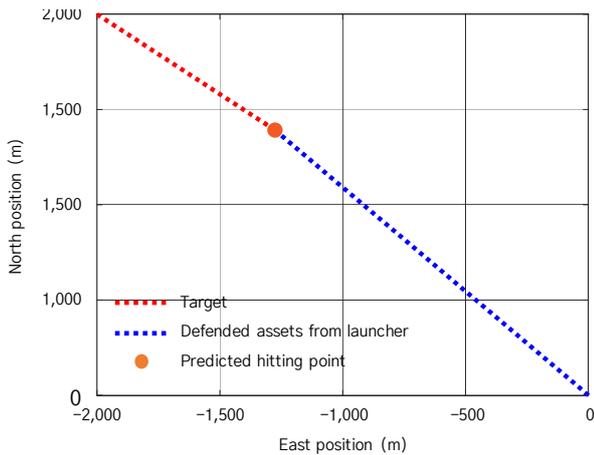


Fig. 3. Scenario for feature extraction algorithm for Korean East Sea

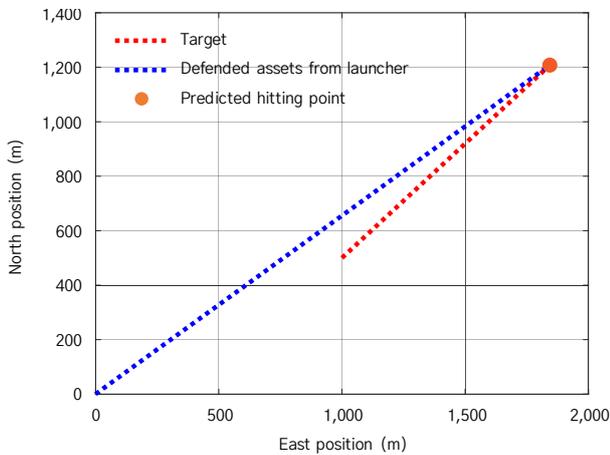


Fig. 4. Scenario for feature extraction algorithm

Table 4. Result of calculating the predicted impact point

Scenario	Predicted impact point
1	[-1275.57 1391.93]
2	[1843.47 1207.99]

4. 결론

근거리 고속 표적의 교전에 있어서 발사대를 기준으로 표적이 접근하거나 충돌하는 기동을 발생시킬 때, 발사대는 예상 요격 지점을 실시간 계산하여 적절한 무장을 할당하고 방어할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 예상 요격 지점을 산출하기 위한 기법을 기하 관계를 통해 설계하였다. 고도가 낮은 비행을 하는 대공미사일이나 저고도로 비행하는 표적에 대하여 본 논문에서 제시한 2차원 평면상의 기하관계를 통해 용이하게 예상 요격 지점을 산출할 수 있음을 확인하였다. 특히 근거리 고속표적을 요격하는 체계에서 탐지하는 표적의 현재 위치, 속도, 방위 정보를 이용하여 간단하게 산출하는 것이 큰 특징이다.

이를 통해 본 연구는 근거리 고속 표적의 교전에 있어서 표적의 진입 침로와 속도를 반영하여 실시간으로 예상 요격 지점을 산출함으로써, 최적의 무장 할당과 근거리 고속 표적의 방어 전략 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] S. W. Jung, "In-flight Impact Angle Determination Algorithm for Moving Target," Journal of the Korean Association of Defense Industry Studies, Vol. 25, No. 2, pp. 15-25, May. 2018.

[2] G. Y. Moon, Y. W. Lee and Y. G. Lee, "Research on Predicted Intercept Point Calculation Algorithm against Sea-skimming Flying Target," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference, pp. 960-961, Nov. 2018.

[3] C. K. Ryoo, K. K. Park, Y. Y. An and W. R. Jang, "Cooperative Salvo Attack with Anti-ship Missile Based on Impact Time Consensus," Journal of Electrical Engineering and Technology Summer Conference, pp. 1424-1425, July. 2017.

[4] E. J. Song and M. Joh, "Real-time Midcourse Guidance with Consideration of the Impact Condition," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 4, No. 2, pp. 26-36, Nov, 2003.

[5] J. C. Park and C. H. Lee, "Study on 3-Dimensional Guidance Law based on Collision Geometry," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference, pp. 354-355, Nov. 2022.