

재설정 가능한 표적 크기 추정 알고리즘 연구

A Study on the Resizable Target Size Estimation Method for Imaging Target Tracking

정 윤 식*, 노 신 백
(Yun Sik Jung^{1,*} and Shin Baek Rho¹)

¹Daegu 2nd team, Defense Agency for Technology and Quality

Abstract: In this paper, an improved method RMBE (Resizable Model Based target size Estimator) is presented for SDIIR (Strap Down Imaging Infrared) seekers. At the target engaging scenario, the IIR target measurement is separated by various parts. In this case, target object changing is important to accurate target intercept. Therefore, we need robust target size estimator. Our proposed method resize estimated target size with MC-1 (Markov Chain I) for accurate target size estimation. The performance of proposed method is tested at IIR target tracking of target intercept scenario. The experiment results show that the proposed RMBE has improved performance than MBE.

Keywords: target tracking, target size, imaging infrared, distance information, HPDAF

I. 서론

개발된 이래로 현대전에서는 표적을 요격하기 위한 가장 대표적인 수단으로 자리매김하고 있다. 유도 미사일에서 표적을 탐지하고 요격하는데 가장 중요한 부분 중 하나인 탐색기 부분은 과거에는 주로 IR (Infrared), RF (Radio Frequency) 등을 사용하여 왔지만 기술의 발전과 더불어 이들 유도탄을 능동적으로 회피하기 위한 수단들도 발전함에 따라 표적에 대한 요격 성능이 점차 저하되는 추세에 있다. 이에 유도탄의 요격성능을 향상하고자 다양한 방식의 탐색기를 연구, 개발되어 졌으며 이들 중 하나가 바로 IIR (Imaging Infrared) 탐색기이다.

IIR 탐색기는 적외선 대역을 영상화하기 때문에 EO (Electro Optic)와는 영상이라는 점은 같지만 영상 화면에 나타난 표적의 특징은 차이가 크다. 일반적으로 EO에서의 표적은 눈에 보이는 것과 같은 형태로 나타나지만 IIR에서는 엔진과이나 차체와 같이 열을 발생하거나 급속으로 가열되는 부분에서 큰 신호가 발생하여 더 밝은 색으로 영상에 나타난다. 때문에 표적의 형상이 IIR 영상에 전체가 나타나지 않고 부분적으로 나타나는 경우가 많다. 또한 습도나 온도 등의 대기 환경에 의해서도 적외선 복사 에너지가 IIR 카메라까지 도달하는 비율이 달라지기 때문에 표적에 대한 형상이 뚜렷하게 나타나지 않거나 보이지 않는 경우도 있다. 이러한 여러 단점에도 불구하고 IIR은 야간의 표적을 뚜렷하게 확인 할 수 있다는 점이나 연기와 같은 시야를 가리는 현상에도 불구하고 표적을 확인가능하며 어지러운 배경에서도 표적을 쉽게 구분 가능한 등의 여러 장점을

가져 수많은 군용 장비에 응용되고 있으며 이러한 응용 방법 중 하나가 유도탄 탐색기 사용하는 방법이다. IIR 영상의 유도탄 탐색기 응용은 앞서 설명한 다양한 장점을 지니지만 모든 영상 장비들은 수동(Passive) 장비이기 때문에 표적과의 거리를 명확히 알 수 없으며 이러한 문제점은 IIR 영상에서의 표적추적 성능에 영향을 준다.

거리 측정이 어려운 문제점을 극복하기 위해 기존의 유도탄 거리에 따른 범위 변화를 표적 추적에 반영하는 방법으로 Lin Qi, Zelin Shi [1]은 거리 정보가 정확히 주어진 경우 및 템플릿 영역을 변화시켜 표적을 요격하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 표적의 템플릿 정보에 대한 신뢰도는 높일 수 있지만 템플릿 추적의 특징인 가림이나 표적의 순간적인 형상 변화에 대응하기 쉽지 않으며 영상 센서만을 사용하는 유도탄의 경우 수동형센서의 이점을 살리기 위해 영상 센서 뿐만 아니라 RF 센서와 같은 능동형 센서를 사용하지 않는 경우가 있기 때문에 보다 실용적인 알고리즘이 요구된다. 이에 지난 연구에서 거리 정보의 측정 없이 적외선 영상 정보(IIR)만을 사용하여 표적의 크기를 추정하는 알고리즘인 MBE (Model Based target size Estimator) [2]를 개발하였으며 시뮬레이션을 통해 효과를 검증하였다.

그러나 지난 연구결과인 MBE 알고리즘은 표적에 대한 정밀 요격이 어려워 개선될 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 유도탄이 표적을 정밀하게 요격하기 위해 표적의 전체에서 부분으로 재 조준 하는 경우 이를 자동으로 판단하여 해당 부분의 크기를 추정 할 수 있는 RMBE 알고리즘을 개발하다. 본 논문의 2절에서는 지난 연구결과 제시하였던 MBE 알고리즘에 대하여 설명하고 3절에서는 개선된 알고리즘인 RMBE 알고리즘에 대하여 설명한다. 4절에서는 MBE 알고리즘과 RMBE 알고리즘을 비교한 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내었으며 마지막 5절에서는 결론을 내린다.

* Corresponding Author

Manuscript received December 31, 2013 / revised April 23, 2014 / accepted May 19, 2014

정윤식, 노신백: 국방기술품질원 대구2팀
(highmank@gmail.com/rhosb@dtqa.re.kr)

II. MBE 기초

유도탄을 사용한 표적 요격에서 표적의 크기는 매우 중요한 의미를 지닌다. 특히 영상 탐색기 상의 표적 추적에 있어서 표적의 크기 정보는 표적을 특정 짓기 위한 중요한 정보로 활용 할 수 있다. 그러나 일반적으로 표적의 크기를 알기 위해서는 유도탄과 표적의 상대거리를 파악해야만 계산 가능하며 IIR과 같은 영상 센서만을 사용한 유도탄의 경우 표적의 거리에 대한 관측상(observability)이 확보되지 않아 상대거리를 알 수 있는 방법이 없다.

따라서 실제 거리는 추정하기 어렵기 때문에 MBE 알고리즘에서는 표적 크기변화 모델과 이를 바탕으로 생성한 가상 상대거리로부터 표적의 크기를 추정한다. MBE 알고리즘은 크게 표적의 크기변화 모델을 초기화 하는 부분과 표적의 크기를 추정하는 두 부분으로 나눌 수 있다.

첫 번째 부분인 표적의 크기변화 모델을 초기화 하는 부분에서는 IIR 영상에 나타난 표적의 수개의 크기정보를 바탕으로 크기변화 모델링을 초기화 한다. 이때 설정하는 크기변화 모델은 아크 탄젠트 함수를 모델링 한 것으로 다음과 같다.

$$X_{target} = \frac{X_{cam}}{\theta_{cam}} \theta_{target} = \frac{X_{cam}}{\theta_{cam}} 2 \tan^{-1} \frac{a/2}{r} \quad (1)$$

θ_{target} 는 영상에 나타난 표적의 크기를 각도정보로 환산한 값이고 X_{target} 는 영상에 나타난 표적의 크기 픽셀(pixel) 정보이며 θ_{cam} , X_{cam} 은 각각 카메라의 시야각 및 총 픽셀 정보이다. r 은 표적과 사영중심(Projection center)과의 거리이며 a 는 실제 표적의 크기이다. 식 (1)은 표적의 거리와 실제 크기 그리고 영상 화면에서의 표적의 크기에 세 가지 변수에 대한 식이므로 변수 중 두 값만 알면 나머지의 변수는 자동으로 계산 가능하다.

표적에 대한 크기변화 모델인 식 (1)를 기반으로 하여 여러 가지 요인으로 인해 발생하는 거리 및 영상의 표적 크기에 존재하는 오차를 최소화 하고 주어진 정보만으로 가능한 정확한 표적 크기 값인 a 를 찾기 위해 MBE 알고리즘에서는 최소 자승법(Least square method)을 사용한다. 거리 및 크기정보 모델링인 식 (1)을 영상에서의 표적크기 데이터 n 개를 모아 표적의 실제 크기에 대하여 최소자승법으로 풀면 아래 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$a = 2 \frac{\sum_{i=1}^n r_i \frac{1}{\tan(\theta_i/2)}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\tan(\theta_i/2)} \right)^2} \quad (2)$$

위 식 (2)에서 r_i 는 i 번째 거리 데이터이고 θ_i 는 i 번째 영상의 표적 픽셀 크기를 각도 정보로 환산한 것이다. 식 (2)에 의해 표적의 크기를 구하기 위해서는 n 개의 데이터를 수집하여야 하는데 n 값은 튜닝 값으로 너무 작을 경우 데이터가 부족하여 표적에 대한 정확한 크기를 산출하기 어렵고 너무 크면 표적의 크기를 구하기 위해 수 시간을 낭비하여 표적 요격성능 저하시킬 수 있으므로 n 값은 수백의 테스트를 통해 적절한 값을 선정 하여야 한다.

식 (2)를 사용하여 표적의 크기 변화 모델을 추정하기 위해서는 표적과의 거리정보가 필요하며 영상에서의 크기 변화도 필요하다. 그러나 이들 데이터를 수집하기 위해서는 문제점이 존재한다. 거리정보의 경우 측정 불가능한 파라미터이며 영상에서의 표적 크기변화는 항상 발생하지 않기 때문이다. 이 문제 중 첫 번째 문제인 표적과의 거리 문제는 매 시간 INS로부터 수집한 유도탄의 위치와 초기 탄의 발사 시 수집한 표적의 위치를 기반으로 표적이 움직이지 않는다고 가정하고 계산한다. 비록 INS는 누적오차가 존재하고 표적의 이동에 의한 누적오차도 존재하지만 본 알고리즘이 사용되는 유도탄의 환경은 단거리 유도탄으로써 저가의 INS (Inertial Navigation System)를 사용하는 경우에도 오차가 미세하기 존재하기 때문에 큰 영향이 없으며 표적의 이동에 의한 오차도 단거리 유도탄의 비행시간이 10초라 가정하더라도 그동안에 이동하는 거리가 크지 않기에 큰 영향이 없는 것을 시뮬레이션을 통해 확인 하였다. 두 번째 문제는 영상에서의 표적의 크기변화가 감지되는지를 판단하는 크기변화 문턱치(size changing threshold)를 사용하여 표적의 크기변화가 존재하는지를 판단함으로써 해결 가능하다.

$$x_t - x_0 > x_{threshold} \quad (3)$$

식 (3)에서 $x_{threshold}$ 는 크기변화 문턱치를 x_t 는 t 시간의 영상에서의 표적의 크기를 x_0 는 표적 락온(Lock on) 시점의 표적 크기를 뜻한다.

첫 번째 부분의 표적 크기변화 모델링을 초기화 후 본격적으로 표적 크기 추정 알고리즘을 동작한다. 칼만필터의 동작 식은 다음과 같다.

prediction :

$$\begin{aligned} \bar{X}_t &= F \hat{X}_{t-1} \\ \bar{P}_t &= F \hat{P}_{t-1} F^T + Q_{t-1} \end{aligned} \quad (4)$$

update (m0) :

$$\begin{aligned} \hat{X}_t &= \bar{X}_t^{re} = \begin{bmatrix} x_t \\ -m_{speed}/fps \end{bmatrix} \\ \hat{P}_t &= \bar{P}_{t-1} \end{aligned} \quad (5)$$

update (m1) :

$$\begin{aligned} K_t &= \bar{P}_t H^T (H \bar{P}_t H^T + R_t)^{-1} \\ \hat{X}_t &= \bar{X}_t + K_t (z_t - H \bar{X}_t) \\ \hat{P}_t &= (I - K_t H) \bar{P}_{t-1} \end{aligned} \quad (6)$$

measurement generation :

$$Z_t = \frac{a/2}{\tan \left(\frac{X_{target}^t}{2} \frac{\theta_{cam}}{X_{cam}} \right)} \quad (7)$$

measurement noise :

$$R_t = \frac{a/2}{\tan \left(\frac{X_{cam}}{\theta_{cam}} \left(X_{target}^t / 2 + k \right) \right)} + \frac{a/2}{\tan \left(\frac{X_{cam}}{\theta_{cam}} \left(X_{target}^t / 2 - k \right) \right)} \quad (8)$$

validation gate :

$$\begin{aligned} r_{\max} &= \bar{X}_{11}^t + (\gamma \bar{P}_{11}^t + R_t) \\ r_{\min} &= \bar{X}_{11}^t - (\gamma \bar{P}_{11}^t + R_t) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (4)와 식 (6)은 표준 칼만 필터(standard kalman filter) 식이며 식 (5)는 측정치가 존재하지 않을 때의 식으로 식 (9)에 의해 계산되는 유효 측정 영역에 따라 판정한다. 식 (9)에서 \bar{X}_{11}^t 은 t 시간의 \bar{X} 의 1행 1열값이고 \bar{P}_{11}^t 는 t 시간의 \bar{P} 의 1행 1열값이다. γ 는 게이트 크기(gate size)로 $\gamma=9$ 이다. 식 (9)에서 구한 r_{\max} , r_{\min} 는 거리 측정치의 최대 최소를 나타내는 것으로 두 값 사이에 측정치가 있을 경우 측정치가 존재하는 것으로 판단하여 $m1$ 을 측정치가 존재하지 않을 경우 $m0$ 로 판단한다. 식 (9)는 기존의 경우 새로운 측정치 정보가 없으므로 추정된 값을 그대로 사용하지만 MBE 알고리즘에서는 유도탄의 INS로부터 획득한 유도탄의 속도 정보를 사용한다. 이때 유도탄의 속도 정보를 FPS (Frame Per Second)로 나눈 후 음수를 취해 주는데 이는 영상 표적 추적의 기본적인 물리 단위가 프레임(frame) 단위이기 때문에 유도탄으로부터 획득한 속도 정보의 단위인 m/s(meter per second)를 영상 프레임 단위의 속도인 m/f(meter per frame)로 변환한 것이다. 또한 거리 정보의 경우 표적과의 거리가 가까워지는 것을 가정하므로 거리는 줄어들기 때문에 유도탄의 속도는 음수로 사용한다. 이때 유도탄의 속도 정보를 FPS (Frame Per Second)로 나눈 후 음수를 취해 주는데 이는 영상 표적 추적의 기본적인 물리 단위가 프레임(frame)단위이기 때문에 유도탄으로부터 획득한 속도 정보의 단위인 m/s(meter per second)를 영상 프레임

단위의 속도인 m/f(meter per frame)로 변환한 것이다. 지금까지 설명한 MBE 알고리즘을 정리하여 도식화 하면 그림 1과 같다.

MBE 알고리즘은 영상 표적 추적을 위한 확률기반 추적 필터인 HPDAF [8,9]와 결합하여 표적 추적을 수행한다. HPDAF는 우수한 표적 추적 필터인 칼만 필터와 자료결합(Data Association) 알고리즘으로 유효측정영역의 측정 정보들 중 신호세기와 위치정보를 기반으로 여러 측정치 중 표적 측정치를 구분하는 HPDA 알고리즘을 결합한 것이다.

III. 제안한 RMBE 기법

유도탄의 IIR에서 나타난 표적들은 근거리로 갈수록 점점 더 부분별 색상이 달라지며 여러개의 측정정보로 분산되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 근거리로 갈수록 표적으로부터 도달하는 복사 에너지 량이 증가하고 이와 더불어 표적이 근거리에 위치하기 때문에 표적의 세부 부분이 나타나기 때문이다. 이와 같은 상황은 유도탄의 표적 요격 성능에 악영향을 준다.

표적에 해당하는 여러 개의 정보 중 추적 필터는 하나의 정보를 추적하게 되는데 만약 추적하는 측정정보가 표적의 모서리로부터 기인된 경우 유도탄의 상황에 따라 표적을 벗어나는 경우가 발생한다. 또한 크기 표적의 크기추정이 정확하지 않아 여러개의 모서리를 순간적으로 선택하여 추적하는 경우 표적 요격은 더욱 어렵다. 따라서 여러 개의 부분으로 표적의 분산되는 경우 취약한 하나의 부분을 정확히 식별하고 해당 부분만을 추적가능하다면 표적 요격 성능을 개선 할 수 있다. 때문에 그림 2의 사각 조준점과 같이 다양한 표적의 측정치 중 이러한 표적 취약부분만을 추적 가능한 알고리즘이 필요하며 이를 위한 표적의 취약부의 크기를 추정하여 관심영역으로 설정 할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

지난 연구에 제안한 MBE 알고리즘이나 기존에 발표되었던 논문들은 조준하는 표적에 대한 급격한 크기변화를 고려치 않거나 표적과 유도탄간의 거리정보를 알아야 표적의 크기를 계산 가능하기 때문에 표적의 취약부분에 대한 정밀 타격 성능은 개선이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 절에서는 1차 마코브체인(Markov Chain 1)을 사용하여 현재 추정하는 표적의 거리에 따른 크기변화가 타당한지 판단하고 그렇지 않다면 크기변화 모델을 재설정하여 조준한 표적의 일부분만을 대상으로 크기를 추정하는 방법을 설명한다.

마코브 체인에 의한 표적 모델의 정확성을 판단은 트랙

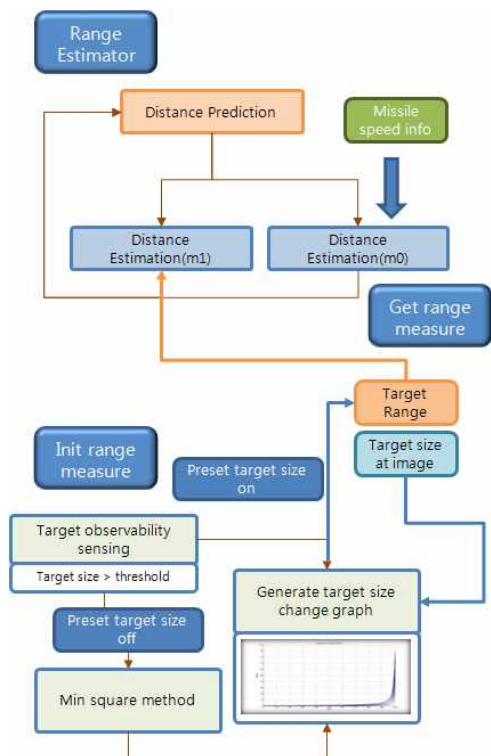


그림 1. MBE 알고리즘 (블록도).

Fig. 1. MBE (Model Based target size Estimator) algorithm.

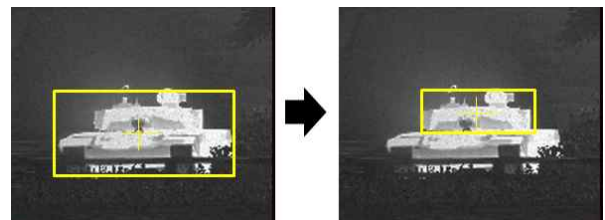


그림 2. 표적 조준점 변경.

Fig. 2. Target aiming point changing.

관리 기법을 사용한다[3-5]. 아래 식은 트랙의 상태전이 확률 행렬(transition probability matrix)을 나타 낸 것이다.

$$\Pi = \begin{bmatrix} P(H_k|H_{k-1}) & P(H_k|\bar{H}_{k-1}) \\ P(\bar{H}_k|H_{k-1}) & P(\bar{H}_k|\bar{H}_{k-1}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

위 식에서 H_k 는 k시간에 현재 설정 한 크기변화 모델이 맞을 확률을 뜻하고 \bar{H}_k 는 크기변화 모델이 잘못된 경우를 뜻한다. 따라서 $P(H_k|H_{k-1})$ 는 k-1시간에 설정한 크기변화 모델이 맞으며 k시간에도 여전히 설정한 크기변화 모델이 맞을 확률을 뜻한다. 식 (10)을 이용하여 MBE 알고리즘의 거리 추정 칼만필터에 대한 트랙존재 사전확률, 즉 크기변화 모델에 맞게 트랙이 추적하고 있는지에 대한 사전확률을 다음과 같이 계산한다.

$$P(H_k|Z_{k-1}) = P(H_k|H_{k-1})P(H_{k-1}|Z_{k-1}) + P(H_k|\bar{H}_{k-1})P(\bar{H}_{k-1}|Z_{k-1}) \quad (11)$$

위 식 (11)의 사전확률을 사용하여 존재 사후확률을 구하기 위해 베이즈룰(bayes' rule)을 사용하여 전개하면 다음과 같다.

$$P(H_k|Z_k) = \frac{\sum_{i=0}^1 P(z_k^i|H_k, Z_{k-1})P(H_k|Z_{k-1})}{P(z_k|Z_{k-1})} \quad (12)$$

위 식 (12)의 $P(z_k^i|H_k, Z_{k-1})$ 는 표적의 거리 측정치와 클러스터의 거리 측정치의 단 두 가지 성분만이 존재하며 추적 필터의 가정들[6,7]에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$P(z_k^1|H_k, Z_{k-1}) = P_D \mathcal{N}(v_k^1; 0, \sigma_k) \quad (13)$$

$$P(z_k^0|H_k, Z_{k-1}) = (1 - P_D P_G) \lambda \quad (14)$$

식 (12)의 $P(z_k|Z_{k-1})$ 는 여사건의 관계를 가지는 두 가설에 대한 사후 확률에 대해서 전확률 정의(total probability theorem)를 적용하면 $P(H_k|Z_k) + P(\bar{H}_k|Z_k) = 1$ 를 만족해야 하므로 다음과 같다.

$$P(z_k|Z_{k-1}) = P_D \mathcal{N}(v_k^1; 0, \sigma_k) P(H_k|Z_{k-1}) + (1 - P_D P_G) \lambda \quad (15)$$

위 식에서 P_D 는 표적이 탐지될 확률을 P_G 는 유효추정 영역에 있을 확률을 뜻한다. 식 (13), (14) 그리고 (15)를 사용하여 식 (12)를 정리하면 다음과 같다.

$$P(H_k|Z_k) = \frac{P(z_k^1|H_k, Z_{k-1})P(H_k|Z_{k-1}) + P(z_k^0|H_k, Z_{k-1})P(H_k|Z_{k-1})}{P(z_k|Z_{k-1})} = \frac{(P_D \mathcal{N}(v_k^1; 0, \sigma_k) + (1 - P_D P_G) \lambda) P(H_k|Z_{k-1})}{P_D \mathcal{N}(v_k^1; 0, \sigma_k) P(H_k|Z_{k-1}) + (1 - P_D P_G) \lambda} \quad (16)$$

식 (16)의 λ 는 클러스터의 공간밀도를 의미한다. MBE에서의 클러스터는 표적 이외의 측정치를 의미하지만 매 시간 수집하는 정보는 단일 측정치이기 때문에 이 측정치가 표적인지 클러스터인지의 판단에 따라 클러스터의 공간밀도가 변경된다. 만약 해당 측정치가 표적의 측정치라면 $P(H_k|Z_k) = 1$ 이 되어 확실한 표적의 크기를 추정하는 것으로 판단 할 수

있다. 그러나 항상 IIR 영상의 표적 추적 필터가 제시한 측정치가 표적의 측정치라 판단 할 수 없으며 클러스터의 공간 밀도인 λ 는 이러한 사항을 반영하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 이 값을 영상표적추적 필터 HPDAF의 측정치에 대한 표적이 아닌 확률과 크기추정필터의 유효추정영역의 크기를 곱하는 방법으로 구한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda_t = (1 - \beta_{IIR}^*) V_{R,t} \quad (17)$$

위 식에서 λ_t 는 t시간의 클러스터 측정치의 공간밀도를 $\beta_{IIR,t}^*$ 은 t시간의 영상 표적추적 결과 도출된 표적 측정치에 대한 표적확률 값을 뜻하며, $V_{R,t}$ 은 t시간의 유효추정영역의 크기를 의미한다.

위 식 (16) 유효추정영역 안에 측정치가 존재 할 때의 존재 사후확률을 계산 한 것이다. 만약 유효추정영역 안에 측정치가 존재하지 않는다면 존재 사후확률은 다음과 같다.

$$P(H_k|Z_k) = \frac{(1 - P_D P_G) P(H_k|Z_{k-1})}{1 - P_D P_G P(H_k|Z_{k-1})} \quad (18)$$

위에서 설명한 존재 사후확률에 의해 현재 칼만필터가 원하는 조준하는 표적 또는 표적에 해당하는 부분의 크기를 정확히 추정하고 있지 않다고 판단되면 크기를 재설정한다. 이를 위해 문턱치(threshold)를 설정하여 존재 사후확률이 문턱치를 넘는지 기준을 판단한다.

만약 문턱치를 넘지 못해 크기변화를 재설정해야 하는 경우 이를 위한 방법으로 MBE 알고리즘의 크기변화 모델을 설정 할 때 사용한 여러 연속된 시간의 측정치를 모아 새로운 크기변화 모델을 구성하는 것이 가장 좋은 방법이지만 알고리즘의 사용목적 특성상 제한하는 RMBE (resizable Model Based target size Estimator) 알고리즘이 사용되는 시기는 표적에 근접해 있는 종말유도단계이기 때문에 여러 시간의 측정치를 수집하는 것은 적합하지 않다. 따라서 새로운 크기변화 함수를 구성하지 않고 기존에 설정 된 크기변화 함수에서 계산한 표적과의 상대거리 변화를 재조정하는 방식을 사용한다. 이를 위하여 크기가 변경되었다고 판단되는 순간의 측정치 정보를 사용하여 거리추정 칼만필터를 재 초기화 하여 거리를 추정하고 결과적으로 영상에서의 크기를 재설정하여 추정한다. 단 거리추정 칼만필터의 속도를 초기화하기 위해 존재 사후확률이 2회 이상을 내려가는 순간을 기점으로 삼아 거리 추정필터의 추정치를 다음과 같이 재설정 한다.

$$\hat{x}_{re} = \begin{bmatrix} r_t \\ r_t - r_{t-1} \end{bmatrix} \quad (19)$$

위 식(19)의 추정치 재설정 과정에서 r_t 는 존재 사후확률이 문턱치 이하로 떨어진 순간인 t시간의 거리 측정치를 의미한다. 존재 사후확률값은 튜닝값으로 적절한 값을 선택 하여야 한다.

다음 그림은 본 절에서 지금까지 설명한 MBE 알고리즘을 개선한 RMBE 알고리즘의 블록도를 나타낸 것이다. 본 블록도에서 제한한 알고리즘 외는 간략히 표시하였다.

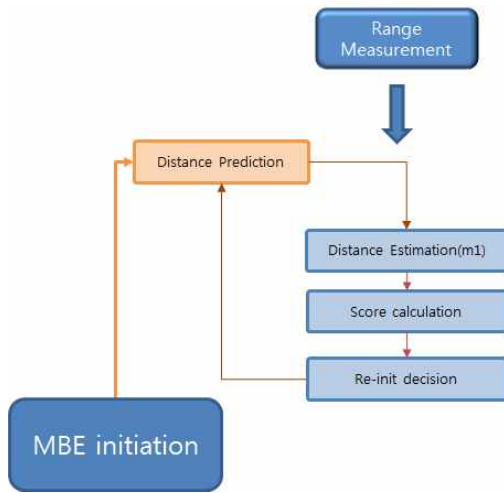


그림 3. RMBE 알고리즘 (블록도).
 Fig. 3. RMBE (Resizable Model Based target size Estimator) algorithm.

제한한 RMBE 알고리즘을 실제 유도탄의 표적 추적과 결합하기 위해서는 IIR 영상표적 추적 필터와의 연동이 필요하다. RMBE는 기존의 알고리즘인 MBE 알고리즘과 IIR 영상표적추적 필터와의 연결이 변경된 부분이 없어 영상표적추적 필터를 연결한 RMBE-HPDAF는 기존의 MBE-HPDAF 알고리즘과 동일하게 연결 가능하다. 때문에 본 논문에서는 BMBE-HPDAF에 대한 설명은 생략한다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 RMBE 알고리즘에 대한 개선된 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 사용하여 알고리즘을 분석하였다. 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다.

시뮬레이션 1번째 시나리오는 표적(전차)이 유도탄 진행 방향 정면에서부터 시작하여 우측으로 이동하며 속도는 5m/s이다. 또한 2, 3번째 시나리오는 표적의 속도를 10m/s, 15m/s로 변화하면서 시뮬레이션을 수행한다. 유도탄은 동체 고정형 IIR 탐색기만을 사용하는 단거리 유도탄을 가정하였다. 탐색기는 480x640의 픽셀 개수를 가지며 시야각은 가로 세로 13, 17도로 하였다. 표적과 유도탄 간의 초기 상대 거리는 1km이며 본 알고리즘의 특성상 발사시점의 표적과 유도탄 간의 상대 거리는 안다고 가정한다. 비교하는 알고

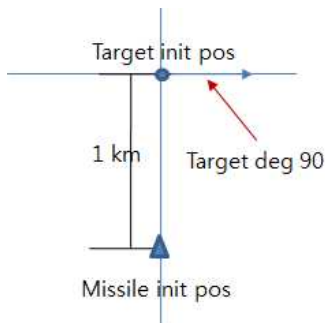


그림 4. 시뮬레이션 시나리오.
 Fig. 4. Simulation scenario.

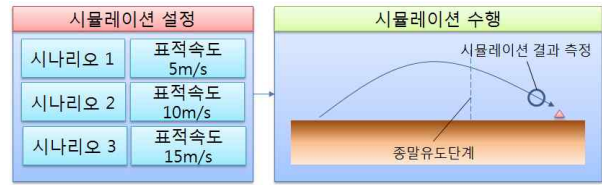


그림 5. 시뮬레이션 구성.
 Fig. 5. Simulation structure.

리즘은 지난 연구 결과인 MBE 알고리즘과 본 논문에서 제안한 RMBE 알고리즘으로 표적 요격 순간 표적에 대한 타격 부위가 얼마나 표적 취약부분인 터렛(turret)에 근접한가를 비교 분석한다. RMBE의 존재 사후확률값은 0.8로 조정하였으며 2번 이상 존재사후확률 이하로 떨어진 경우 크기를 재조정하도록 하였다. 그림 5는 시뮬레이션의 전반적인 내용을 그림으로 나타낸 것이다.

본 논문의 시뮬레이션을 위해 다음과 같이 설정하였다. 유도탄의 비행 중 표적인 전차가 여러 개의 측정정보로 분산되는 시점인 200에서부터 260 프레임의 영상에서는 IIR 표적 추적 필터인 HPDAF의 자료결합 수행 시 여러 측정치 중 어떤 측정치가 더 상부에 위치했는지를 판단하도록 하여 표적 트랙에 대한 추적이 가능토록 하였다. RMBE 알고리즘의 트랙존재확률에 대한 설정은 $P(H_k|H_{k-1})$ 는 0.95로 설정하였으며 $P(\bar{H}_k|H_{k-1})$ 는 0으로 설정하였다. 또한 시뮬레이션을 위해 거리 추정 칼만필터의 표적탐지 확률인 P_D 는 0.9로 표적이 게이트 안에 존재할 확률인 P_G 도 0.9로 설정하였다. 클러스터의 분포의 경우 식 (17)과 같이 표적추적

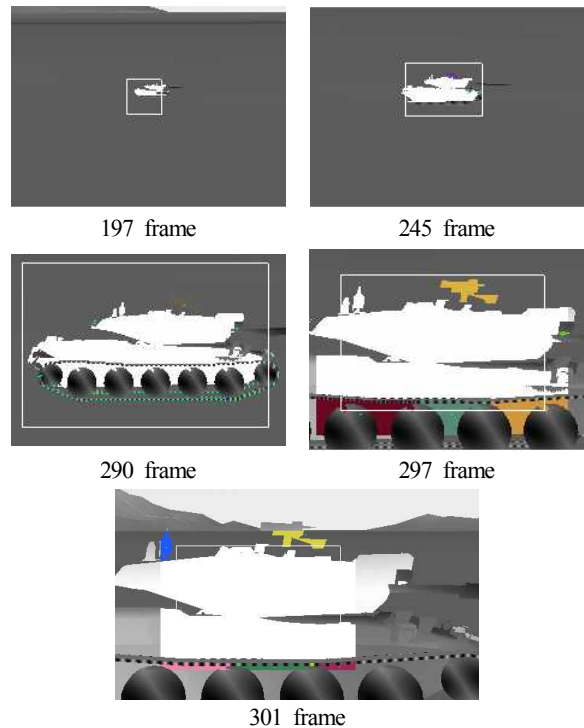


그림 6. RMBE 시뮬레이션 결과.
 Fig. 6. RMBE Simulation results.

필터 HPDAF에서 판별한 표적이 아닐 확률과 거리추정필터의 유효측정영역에 따라 변경되도록 하였다. 위 그림 6은 1번째 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과이다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘인 RMBE의 시뮬레이션 결과 표적에 유도탄이 입사 할 시점에 표적의 터렛 부분만을 추적하여 새로운 표적 크기를 설정하게 됨으로써 정확히 표적 터렛 부분을 타격한다. RMBE 알고리즘의 동작으로 표적의 일부분인 터렛 부분의 크기를 추정하여 유효 측정영역을 재조정 하는 순간은 297 frame 부터이며 알고리즘이 동작중인 301 번째 프레임의 영상 화면을 보면 좀 더 명확하게 확인 가능하다. RMBE를 사용한 추적결과에서 완전히 터렛만을 추적하기 않는 이유는 측정정보 자체가 터렛과 동체를 묶어 하나의 측정치로 나타내기 때문이며 만약 터렛 부분만을 분리 할 수 있다면 당연히 터렛 부분만에 대한 크기 추정을 수행한다. 그러나 위와 같은 터렛과 동체와 묶여서 추적한 결과라 하더라도 유도탄의 표적에 대한 타격부위가 명확하여 표적의 취약부를 공격 가능하다고 판단 할 수 있다.

그림 7은 MBE 알고리즘을 사용하였을 때의 시뮬레이션 결과이다. RMBE 알고리즘이 동작하는 297번째 프레임의 영상화면에서 MBE 알고리즘의 경우 재조준한 물체에 대하여 새로이 표적크기 창을 조준하지 못하기 때문에 표적 전체를 커버하기 위해 FOV의 영역을 넘어서 까지 물체의 크기를 추정하게 되며 301 프레임에서는 297번째 프레임에서의 에러가 지속적으로 작용하여 표적이 식별 할 수 없는 곳에 영상 추적 필터가 위치하고 또한 추정된 표적의 크기도 표적의 크기라 판단 할 수 없는 영역만큼의 크기를 가진다.

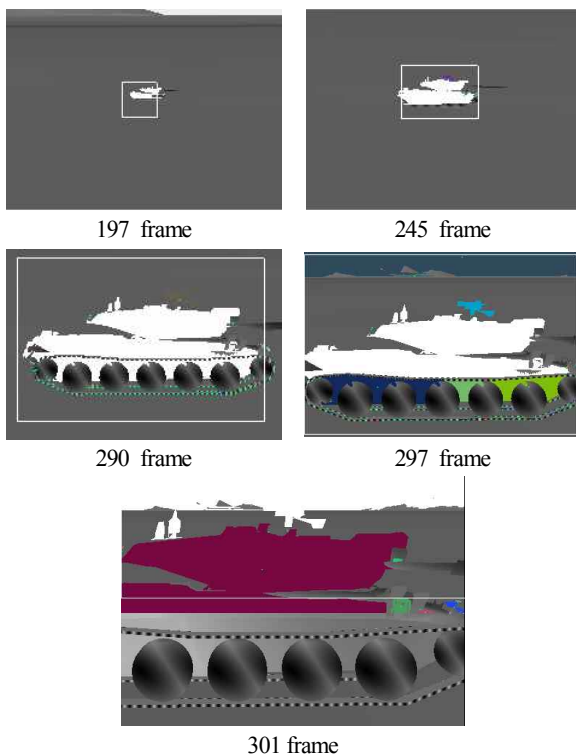


그림 7. MBE 시뮬레이션 결과.
Fig. 7. MBE Simulation results.

표 1. 성능 분석 시뮬레이션 결과.

Table 1. Performance analysis simulation results.

표적 속도	픽셀 오차(pixel)	
	MBE	RMBE
5 m/s	70	15
10 m/s	59	21
15 m/s	60	19

두 알고리즘의 성능비교 시뮬레이션 결과 RMBE 알고리즘의 동작 시점인 297번째 프레임부터 표적에 대한 취약부분 일부의 크기를 추정 유효측정영역으로 적용 되면서 기존에 제시하였던 MBE 알고리즘보다 우수한 표적 정밀 요격 성능을 가진 것으로 판단된다. 이러한 시뮬레이션 결과와 더불어 301 프레임의 IIR 영상 표적추적 필터를 사용한 추정된 표적 위치를 살펴보면 RMBE를 사용한 결과의 경우 터렛의 중심에서의 오차는 약 15픽셀 정도지만 MBE의 결과는 약 70픽셀 정도로 유도탄에 의한 표적 요격 위치의 오차가 상당한 것으로 판단되며 따라서 RMBE 알고리즘의 성능이 개선되었음을 확인 하였다.

표 1은 표적의 속도를 2, 3번의 시나리오에 대한 시뮬레이션의 결과를 정리한 것으로 301 frame에서의 터렛의 중심으로부터의 픽셀오차를 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과로부터 RMBE 알고리즘의 경우 MBE 알고리즘보다 다양한 시나리오에서도 표적의 터렛만을 탐지하여 추적, 요격하는 것을 확인 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 IIR 탐색기만을 사용하는 유도탄의 표적 요격 성능을 개선하기 위한 방법으로 표적의 크기를 추정할 수 있는 알고리즘인 MBE 알고리즘의 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 알고리즘인 RMBE를 제안하였다. 유도탄이 표적으로 비행 중 IIR 탐색기 상의 표적은 여러 개의 측정치로 분산되며 때문에 MBE 알고리즘은 표적의 취약부를 정확히 타격하지 못할 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로 본 논문에서는 표적의 취약부를 재 조준하는 경우 이에 해당하는 유효측정영역의 크기를 재조정하는 RMBE 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 개선된 성능을 검증 하였다.

REFERENCES

- [1] L. Qi and Z. Shi, "A method for FLIR target tracking based on distance updating," *2008 Congress on Image and Signal Processing*, May 2008.
- [2] Y. Jung, S. S. Lee, and S. B. Rho, "A study on the target tracking algorithm based on the target size estimation," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 1, Jan. 2014.
- [3] D. Musicki, "Integrated probabilistic data association," *Automatic Control, IEEE Transactions on*, vol. 39, no. 6, Jun. 1994.
- [4] D. Musicki, *Automatic Tracking of Maneuvering Targets in Clutter Using IPDA*, University of Newcastle, 1994.

- [5] T. H. Kim, B. I. Choi, J. E. Kim, Y. K. Yang, and T. L. Song, "A study of LM-IHPDA algorithm for multi-target tracking in infrared image sequences," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 3, Mar. 2013.
- [6] Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann, *Tracking and Data Association*, Academic Press, New York, 1988.
- [7] Y. Bar-Shalom and X. R. Li, *Estimation and Tracking: Principles and Techniques and Software*, Artech House, Inc, 1993.
- [8] T. L. Song and D. S. Kim, "Highest probability data association for active sonar tracking," *The 9th International Conference on Information Fusion*, Jul. 2006.
- [9] Y. S. Jung and T. L. Song, "A study of IIR target detection and tracking method HPDA with feature information," *Journal of KIMST (in Korean)*, vol. 11, no. 4, pp. 124-132, Jun. 2008.

**정 윤 식**

2005년 한양대 전자컴퓨터공학부 졸업. 2007년 동 대학원 석사 졸업. 2013년 동 대학 박사 졸업. 2012년 국방기술품질원 입사. 관심분야는 영상 표적 탐지 및 추적.

**노 신 백**

1999년 단국대 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 석사 졸업. 2002년~현재 국방기술품질원 재직중. 관심분야는 영상 표적탐지 및 신호처리.