

확률 모델을 이용한 미사일 경고 레이더의 효과도 분석

The Effect Analysis of Missile Warning Radar Using Probability Model

박 규 철 · 홍 성 용*

Gyu-Churl Park · Sung-Yong Hong*

요 약

미사일 경고 레이더의 위협 판단 성능을 분석하기 위해서는 과대응률/미대응률 측면에서 얼마나 효과적으로 위협을 판단하는지를 분석해야 한다. 이러한 효과도 분석을 위해 Monte-Carlo 기법을 이용하여 시뮬레이션을 수행해 왔으나 시뮬레이션 수행 시간이 많이 걸리는 단점이 있었다. 본 논문에서는 단점을 보완하기 위해 확률 모델을 이용한 효과도 분석 기법을 제안하였다. 확률 모델을 설정하는 방법과 실제 시뮬레이션을 통해 전차에 장착한 레이더의 효과도를 분석한 결과를 보인다. 또한, Monte-Carlo 기법과 제안하는 확률 모델 이용 기법에 대한 시뮬레이션 수행 시간의 비교 결과를 제시하고자 한다.

Abstract

To analyze the threat decision performance of MWR(Missile Warning Radar) give analysis on condition that we decide the effective threat using the POC(Probability of Over Countermeasure)/PUC(Probability of Under Countermeasure). Thus, we execute the simulation using the Monte-Carlo method to analyze effect, but the execution time of simulation took longer than we expected. In this paper, the effect analysis is proposed using the probability model to reduce the execution time of simulation. We present the setting method of parameter for probability model and the effect analysis result of MWR using the simulation. Also, we present the comparison result of simulation execution time for Monte-Carlo and probability model.

Key words : Missile Warning Radar, Threat Decision, Effect Analysis, Probability of Over Countermeasure, Probability of Under Countermeasure, Probability Model, Soft Kill

I. 서 론

전차 체계의 능동 방호를 위한 레이더 시스템인 미사일 경고 레이더(MWR: Missile Warning Radar)는 모노펄스 레이더로서 대전차 위협체를 탐지, 추적하여 표적의 거리 및 방위각을 추정하고 위협을 판단하는 기능을 수행한다. 이러한 레이더의 효과도를 분석하는데 있어 중요한 요소는 과대응률(POC: Probability of Over Countermeasure)과 미대응률(PUC: Probability of Under Countermeasure)이다^[1].

과대응률은 인접한 전차로 발사된 표적을 나에게 오는 표적으로 오인하여 대응하는 확률이며, 미대응률은 나에게 오는 표적을 인접 전차로 향하는 것으로 오인하여 대응하지 않을 확률이다. 과대응률과 미대응률 모두 작은 것이 이상적이지만 교전 조건, 시스템 성능 등의 한계로 인하여 두 값 모두를 작게 만들기 어렵다. 따라서 가장 효과적인 위협 판단 기준을 세워야 하며, 위협 판단 기준을 설정하기 위해 시뮬레이션이 필요하다.

기존에는 과대응률 및 미대응률을 추정하기 위해

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*충남대학교 전자공학과(Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20090401-035

· 수정완료일자 : 2009년 6월 2일

서 Monte-Carlo 기법을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 해당 시나리오 상황을 설정하고 과대응률 및 미대응률을 계산하기 위하여 시뮬레이션을 수만 번 반복하여 그 결과를 얻었다. Monte-Carlo 기법은 시뮬레이션에 대한 모델을 얻을 수 없거나 모델링하기 매우 어려운 경우 효과적인 방법이나 수행 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 그러나 미사일 경고 레이더의 효과도에 관해서는 명확한 모델 설정이 가능하며, 모델이 설정되면 그 결과를 매우 빠르게 얻을 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션에 필요한 모델을 세우고, 그 모델에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과를 보인다.

II. 본 론

2-1 위협 판단 기법

2-1-1 기본 개념

그림 1에 미사일 경고 레이더의 위협 판단에 대한 기본 개념을 도시하였다. 표적의 위협 여부는 전차간 거리, 탐지 거리, 표적 속도, TTI(Time To Impact) 등의 조건에 따라 표적의 각도 변화율을 기준으로 판단한다.

미사일 경고 레이더에서 위협 판단의 기준으로 삼고 있는 각도 변화율은 그림 1의 $\dot{\phi}$ 의 변화율이며 식 (1)과 같다^[2].

$$\dot{\phi} = \frac{v_t}{|R|} = \frac{|\bar{v} - \bar{v}_r|}{|R|} = \frac{|\bar{v} - (\bar{v}_r \cdot \hat{R})\hat{R}|}{|R|} \quad (1)$$

\hat{R} 은 R 방향의 단위 벡터이다. 미사일 경고 레이더에서는 $TTI \leq x.x$ 초인 표적 중에서 $|\dot{\phi}| \leq \dot{\phi}_r$ 를 만족하는 경우 위협으로 판단한다. $\dot{\phi}_r$ 는 위협 판단의 기준이 되는 각도 변화율의 경계 값이다.

2-1-2 가중선형근사 알고리즘

식 (1)을 이용해서 각도 변화율을 구할 경우 매스캔 발생하는 각도 오차를 위협 판단에 그대로 반영하게 되는 단점이 있다. 시간과 방위각이 선형 관계를 갖고 있다고 가정하면, 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\phi_i = \dot{\phi} t_i + c \quad (2)$$

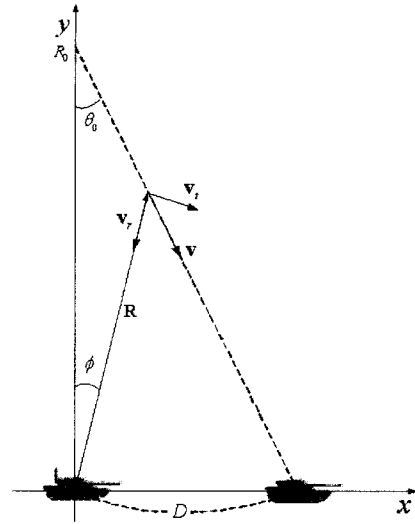


그림 1. 위협 판단 개념도

Fig. 1. The concept of threat decision.

여기에서 ϕ_i 는 표적의 각도 정보이며, t_i 는 TTI를 나타낸다. 위협도 판단은 방위각 변화율 $\dot{\phi}$ 의 분포를 사용한다. 따라서 각도 오차를 최소화하기 위해 식 (3)에서의 오차 E 를 최소화하는 $\dot{\phi}$ 와 c 를 구하는 가중선형근사 알고리즘을 사용한다.

$$E = \sum \left[\frac{\phi_i - (\dot{\phi} t_i + c)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (3)$$

σ_i 는 각도 오차이며, 이는 표적의 SNR(Signal to Noise Ratio) 함수이고 식 (4)와 같다^{[3][4]}.

$$\sigma_i = \frac{\theta_{BW}}{k_m \sqrt{2SNR}} \quad (4)$$

θ_{BW} 는 안테나의 3 dB 빔폭이며, k_m 은 정규화된 monopulse slope이다. 가중치를 w_i 라 할 때 식 (3)으로부터 $\dot{\phi}$ 와 c 를 구하기 위하여 행렬로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} E &= \| r \|^2 \\ r &= b - Ax \\ b &= \begin{bmatrix} \phi_i \\ \sigma_i \end{bmatrix} \\ A &= \begin{bmatrix} 1 & t_i \\ \sigma_i & \sigma_i \end{bmatrix} \\ x &= \begin{bmatrix} c \\ \dot{\phi}_i \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

E 를 최소로 하는 x 를 구하기 위한 필요충분 조건은 식 (6)과 같다.

$$\nabla_x E = 0 \tag{6}$$

식 (6)을 풀면 다음과 같이 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$E = b^T b - 2x^T A^T b + x^T A^T A x$$

$$\nabla_x E = -2A^T b + 2A^T A x = 0$$

$$A^T A x = A^T b \tag{7}$$

식 (7)은 normal 방정식이라고 하며, 결론만 정리하면 식 (8)을 유도할 수 있다.

$$c = \bar{\phi} - \bar{\phi}^T T$$

$$\bar{\phi} = \frac{T \cdot \bar{\phi} - T \cdot \bar{\phi}}{T^2 - (\bar{T})^2}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum w_i t_i}{\sum w_i}, \quad T^2 = \frac{\sum w_i t_i^2}{\sum w_i},$$

$$\bar{\phi} = \frac{\sum w_i \phi_i}{\sum w_i}, \quad T \cdot \bar{\phi} = \frac{\sum w_i t_i \phi_i}{\sum w_i},$$

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \tag{8}$$

2-1-3 미대응률/과대응률

나에게 다가오는 표적의 각도 변화율을 $\bar{\phi}_1$, 인접 전차로 향하는 표적의 각도 변화율을 $\bar{\phi}_2$ 라 할 때 과대응률 p_o 와 미대응률 p_m 은 식 (9)와 같이 표현된다^[5].

$$p_o = p(|\bar{\phi}_2| \leq \bar{\phi}_T)$$

$$p_m = p(|\bar{\phi}_1| \geq \bar{\phi}_T) \tag{9}$$

$\bar{\phi}_1$, $\bar{\phi}_2$ 의 PDF(Probability Density Function)를 $f_1(\bar{\phi}_1)$, $f_2(\bar{\phi}_2)$ 라 할 때 이를 영역으로 표시하면 그림 2와 같다.

미사일 경고 레이더에서는 $\bar{\phi}_T$ 를 고정시키고 과대응률과 미대응률을 구하는 방안(Const. Th)과 미대응률을 고정시키고 $\bar{\phi}_T$ 를 가변시킴으로써 과대응률을 구하는 방안(Adaptive Th)에 대해 효과도를 분석한다.

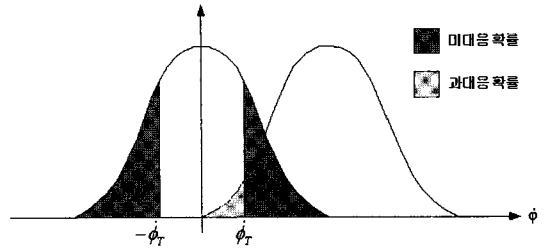


그림 2. PDF내 과대응률/미대응률 분포 형태
Fig. 2. The distribution of POC & PUC within PDF.

2-2 효과도 분석 기법

2-2-1 Monte-Carlo 기법

Monte-Carlo 기법은 그림 3의 4가지 경우에 대해 각도 오차를 랜덤하게 발생시키고, 이를 수만번 반복하여 통계를 구하는 기법이다.

각도 오차는 식 (4)의 σ_i 이며 표적의 SNR은 거리 함수이므로 거리가 가까워져서 SNR이 커질수록 각도 오차는 작아진다. 그리고 정교한 위협 판단을 위해서는 TTI 이전에 충분한 개수의 샘플이 확보되어야 하는데, 이는 스캔 시간, 표적 거리, 속도, TTI와 관련이 있다.

이러한 조건들은 매 시나리오별로 달라지기 때문에 효과도를 분석하기 위해서는 다양한 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행하여야 한다. 그러나 Monte-

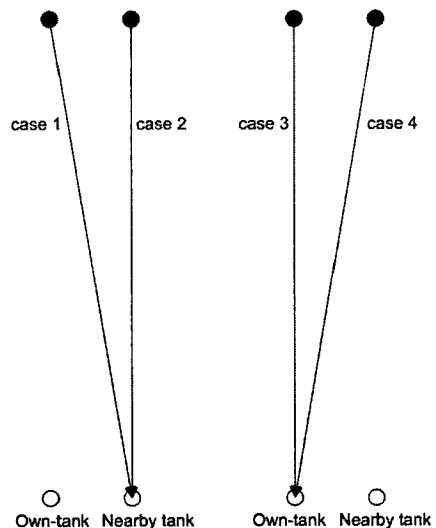


그림 3. 시뮬레이션 시나리오
Fig. 3. The simulation scenario.

Carlo 기법은 시물레이션을 수 만회 반복하여야 하기 때문에 수행 시간이 길다는 단점이 있다.

2-2-2 확률 모델 이용 기법

시물레이션 수행 시간을 단축시키기 위해 본 논문에서는 확률 모델 이용 기법을 제안한다. 레이더에서 탐지되는 방위각이 시간 TTI에 따라 정규 분포 (Gaussian distribution)를 가지므로 확률 변수 ϕ_i 는 식 (10)과 같이 정규 분포를 갖는다고 가정한다^{[6],[7]}.

$$\phi_i \sim N(\phi_i, \sigma_i^2) \quad (10)$$

ϕ_i 는 ϕ_i 의 실제 값(true value)이며 ϕ_i 의 평균이 되고, σ_i 는 표준 편차(standard deviation)이며 이는 표적의 SNR의 함수이다. 각도 변화율 $\dot{\phi}$ 를 확률 변수 ϕ_i 들의 조합이라고 할 때 $\dot{\phi}$ 의 PDF는 식 (8)을 식 (11)과 같이 바꾸어 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= \frac{T \cdot \bar{\psi} - \bar{T} \cdot \bar{\Psi}}{T^2 - (\bar{T})^2} = \sum \alpha_i \phi_i \\ \alpha_i &= \frac{(w_i t_i - \bar{T} w_i)}{(T^2 - (\bar{T})^2) \sum w_i} \end{aligned} \quad (11)$$

확률 변수 X_n 의 PDF가 식 (12)와 같을 때 X_1, X_2 가 서로 독립이라면 이들의 합 Z 의 PDF는 식 (13)과 같이 X_1, X_2 PDF의 convolution으로 나타낼 수 있다^[8].

$$X_n = f_n = N(m_n, \sigma_n^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n}} e^{-\frac{(t-m_n)^2}{2\sigma_n^2}} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Z &= X_1 + X_2 = f_1 * f_2 \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} e^{-\frac{(t-(m_1+m_2))^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \\ &= N(m_1 + m_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \end{aligned} \quad (13)$$

따라서 새로운 확률 변수 Z 의 평균은 X_1, X_2 의 평균을 더한 것이며, 편차 또한 X_1, X_2 의 편차를 더한 것과 같다. 이러한 성질을 이용하여 n 개의 확률 변수를 더한 새로운 확률 변수의 PDF는 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z &= f_1 * f_2 * \dots * f_n \\ &= N(m_1 + m_2 + \dots + m_n, \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2) \end{aligned} \quad (14)$$

이를 이용하여 식 (11)을 식 (15)와 같이 바꿀 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= \sum \alpha_i \phi_i = N(\sum \alpha_i \phi_i, \sum \alpha_i^2 \sigma_i^2) \\ &= N\left(\frac{\sum (w_i t_i - \bar{T} w_i) \phi_i}{(T^2 - (\bar{T})^2) \sum w_i}, \frac{\sum (w_i t_i - \bar{T} w_i)^2 \sigma_i^2}{(T^2 - (\bar{T})^2)^2 (\sum w_i)^2}\right) \\ &= N(m_{\dot{\phi}}, \sigma_{\dot{\phi}}^2) \end{aligned} \quad (15)$$

$$m_{\dot{\phi}} = \sum \alpha_i \phi_i = \frac{\sum (w_i t_i - \bar{T} w_i) \phi_i}{(T^2 - (\bar{T})^2) \sum w_i}$$

$$\sigma_{\dot{\phi}}^2 = \sum \alpha_i^2 \sigma_i^2 = \frac{\sum (w_i t_i - \bar{T} w_i)^2 \sigma_i^2}{(T^2 - (\bar{T})^2)^2 (\sum w_i)^2}$$

따라서 각도 변화율 $\dot{\phi}$ 의 PDF는 정규 분포를 가지므로 과대응률/미대응률의 효과도는 $m_{\dot{\phi}}, \sigma_{\dot{\phi}}$ 를 이용하여 그림 2의 정규 분포의 면적 값을 구함으로써 분석할 수 있다. 정규 분포의 확률은 식 (16)의 Q-function으로 정의할 수 있다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (16)$$

Q-function은 직접 계산이 어렵다는 단점이 있지만 error 함수를 사용하면 쉽게 계산할 수 있다. 식 (17)의 erfc(complementary error function)는 Matlab 등의 툴에서 기본적으로 제공되는 함수이므로 쉽게 그 값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{erfc}(x) &= 1 - \text{erf}(x) \\ &= 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-z^2} dz \end{aligned} \quad (17)$$

Q-function을 erfc로 나타내면 식 (18)과 같다.

$$Q(x) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (18)$$

과대응률 p_o 와 미대응률 p_m 은 식 (19)와 같이 Q-function으로 계산할 수 있다.

$$p_o = 1 - Q\left(\frac{\dot{\phi}_T - m_2}{\sigma_2}\right) + Q\left(\frac{-\dot{\phi}_T - m_2}{\sigma_2}\right)$$

$$= 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\hat{\phi}_T - m_2}{\sqrt{2}\sigma_2}\right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{-\hat{\phi}_T - m_2}{\sqrt{2}\sigma_2}\right)$$

$$p_m = 2Q\left(\frac{\hat{\phi}_T - m_1}{\sigma_1}\right) = \operatorname{erfc}\left(\frac{\hat{\phi}_T - m_1}{\sqrt{2}\sigma_1}\right) \quad (19)$$

따라서 $\hat{\phi}_T$ 가 주어지는 경우 시나리오별로 변하는 미사일 경고 레이다 시스템의 m 과 σ 을 반영함으로써 과대응률과 미대응률을 계산하여 효과도 분석이 가능하다.

또한, 미대응률 p_m 이 주어지는 경우 식 (20)에 의해 $\hat{\phi}_T$ 가 가변하게 되고 이를 반영하여 식 (19)의 과대응률 p_o 을 계산함으로써 효과도 분석이 가능하다.

$$p_m = \operatorname{erfc}\left(\frac{\hat{\phi}_T - m_1}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)$$

$$= 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\hat{\phi}_T - m_1}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)$$

$$\hat{\phi}_T = \operatorname{erfc}^{-1}(1 - p_m) \cdot \sqrt{2}\sigma_1 + m_1 \quad (20)$$

III. 시뮬레이션 결과

3-1 효과도 분석 결과

3-1-1 조건 1

조건 1은 대전차 미사일인 토우의 RCS 크기로 제작된 시험탄으로 시험하는 것과 유사한 조건이다. 그림 4, 5, 6에서 표적 정보 창, 확률과 TTI 창과 보조 창으로 나누어져 있다. 확률과 TTI 창은 과대응률과 미대응률의 값을 나타내는 창이며, Const. Th는 각도 변화율 경계 값 $\hat{\phi}_T$ 를 xx°/s로 고정시켰을 경우의 고정 경계 값이며, Adaptive Th는 미대응률을 xx%로 고정시켰을 경우의 가변 경계 값이다. 보조 창은 TTI에 따라서 각도 변화율 경계 값 $\hat{\phi}_T$ 를 xx°/s로 나타내는 창이다.

그림 4는 표적의 최초 탐지 거리 1,449 m, 전차간 떨어진 거리 200 m, 표적 속도 251 m/s로 설정하였을 때 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

TTI x.x초에서 Adaptive Th의 경우 과대응률은 5% 미만, 미대응률은 20%로 고정시켰으며, Const. Th의 경우 과대응률은 30% 정도, 미대응률은 5% 미만이다.

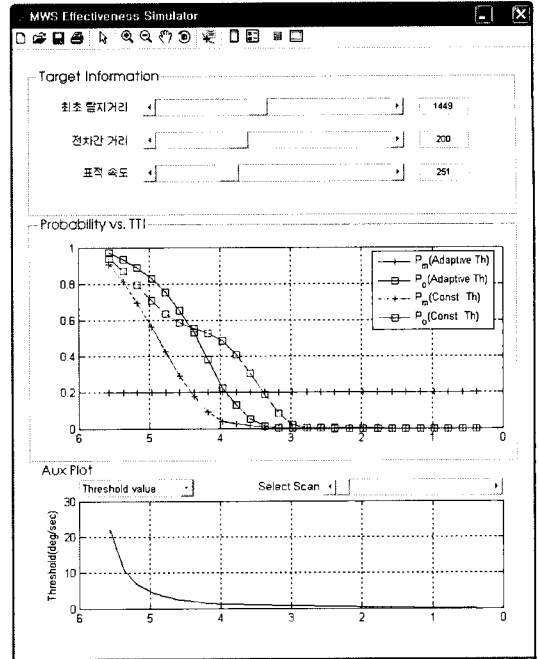


그림 4. 효과도 분석 결과 - 조건 1
Fig. 4. The effect analysis result, condition 1.

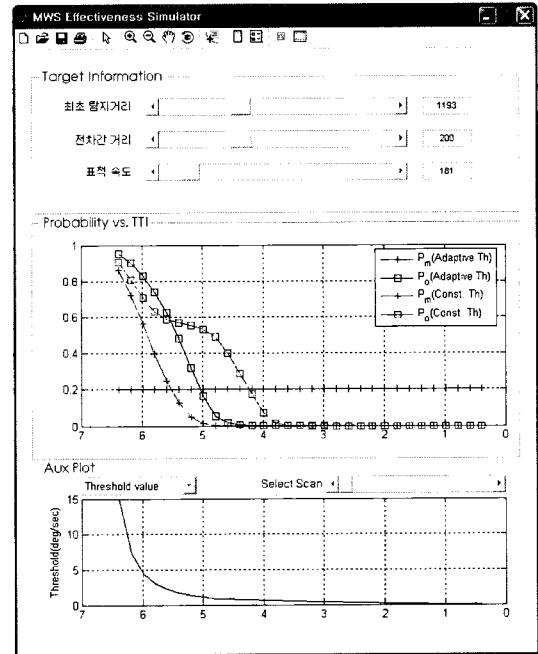


그림 5. 효과도 분석 결과 - 조건 2
Fig. 5. The effect analysis result, condition 2.

3-1-2 조건 2

조건 2는 대전차 위협체인 metis-M으로 시험하는

것과 유사한 조건이다. 그림 5는 표적의 최초 탐지 거리 1,193 m, 전차간 떨어진 거리 200 m, 표적 속도 181 m/s로 설정하였을 때 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

TTI x.x초에서 Adaptive Th의 경우 과대응률은 5 % 미만, 미대응률은 20 %로 고정시켰으며, Const. Th의 경우 과대응률, 미대응률 모두 1 % 이하이다.

3-1-3 조건 3

조건 3은 위협탄이 근거리에서 발사되어 위협 판단을 위한 데이터가 많이 축적되지 않은 상황에서 위협 판단 성능을 보기 위한 조건이다. 그림 6은 표적의 최초 탐지 거리 772 m, 전차간 떨어진 거리 200 m, 표적 속도 171 m/s로 설정하였을 때 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

최초 탐지 시간은 TTI x.x초이고, 3 스캔이 지난 시점에서 Const. Th의 경우 미대응률과 과대응률이 모두 1 % 이하로 줄어들었고, Adaptive Th의 경우 과대응률이 5 % 미만인 되었음을 볼 수 있다. 근거리 탐지 표적의 경우 데이터 개수는 부족하지만, SNR이 높아 각도 정확도가 높아졌기 때문에 가능하다.

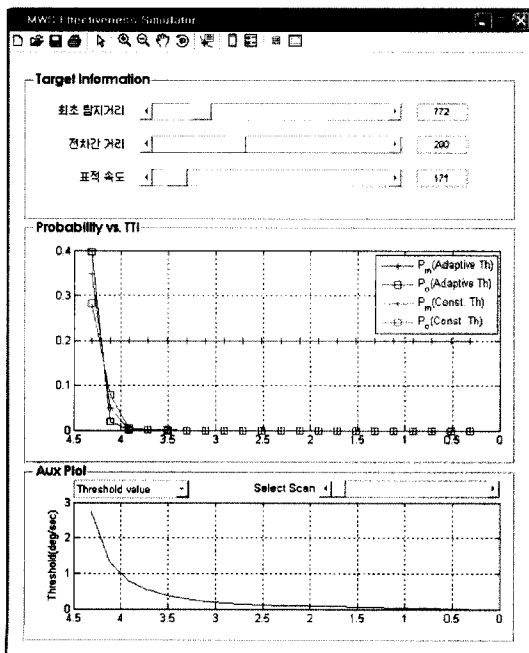


그림 6. 효과도 분석 결과 - 조건 3
Fig. 6. The effect analysis result, condition 3.

표 1. 시뮬레이션 수행 시간 비교 결과

Table 1. The comparison result of execution time for simulation.

적용 기법	수행 시간
Monte-Carlo 1만회	약 20분
Monte-Carlo 10만회	약 3시간
확률모델 이용	2초 이내

표 2. 시뮬레이션 결과 비교

Table 2. The comparison of simulation result.

적용 기법		TTI x.x	
		POC	PUC
Monte-Carlo 기법	조건 1	29.6 %	8.4 %
	조건 2	1 %	1 %
	조건 3	1 %	1 %
확률 모델 기법	조건 1	30 %	5 %
	조건 2	1 %	1 %
	조건 3	1 %	1 %

3-2 시뮬레이션 수행 시간 비교 결과

기존 Monte-Carlo 기법과 제안하는 확률 모델을 이용한 기법의 시뮬레이션 수행 시간을 비교해 보았다.

표 1에서 확인할 수 있듯이 제안하는 확률 모델을 이용한 기법이 Monte-Carlo 기법 1만회 수행에 비해서는 1/600, Monte-Carlo 기법 10만회 수행에 비해서는 1/5,400로 시간을 단축시켰음을 확인할 수 있다.

3-3 시뮬레이션 결과 비교

표 2에 기존 Monte-Carlo 기법과 제안하는 확률 모델을 이용한 기법의 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 표로부터 과대응률과 미대응률의 정확도가 거의 일치함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 미사일 경고 레이더의 효과도 분석을 위한 모델을 제시하였다. 모델을 통한 시뮬레이션은 모델을 세우지 않은 경우에 비해 분석이 용이하며 시뮬레이션 시간을 단축할 수 있다. 기존의 Monte-Carlo 기법은 수 만번의 반복 시뮬레이션을 통

해 결과를 얻었기 때문에 시간이 많이 소요되어 다양한 조건에 대한 결과를 얻기가 쉽지 않았다.

그러나 제안하는 기법을 이용하면 다양한 조건에 대해 시뮬레이션을 수행함으로써 효과적인 위협도 분석을 수행할 수 있으며, 각도 변화율의 경계 값을 적절하게 변화시켜 과대응률을 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한 기존 시뮬레이션으로는 실시간 처리를 요구하는 시험에서는 가변 경계 값을 적용하기 어려웠으나 제안하는 기법은 수행 시간이 짧기 때문에 가변 경계 값의 적용이 가능하다. 앞으로 실제 대전차 미사일을 탐지하는 상황에서 어떻게 경계 값을 결정해야 하는지 논의되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 하중수, 박규철, 이종민, 방호용레이다 과대응률/미대응률 분석, 국방과학연구소 연구보고서, pp. 2-17, 2006년 9월.
- [2] 하중수, 박규철, 방호용레이다 위협 판단 및 간섭 억제 기술개발, 국방과학연구소 연구보고서, pp. 8-16, 2008년 6월.
- [3] 하중수, 박규철, 방호용레이다 정확도 분석, 국방과학연구소 연구보고서, pp. 22-29, 2006년 9월.
- [4] 하중수, 박규철, 이정수, "방호용레이다 정확도 분석", 제14회 지상무기 발전 세미나, 국방과학연구소, pp. 1-5, 2006년 11월.
- [5] 하중수, "방위각 변화율을 이용한 방호용레이다 위협 판단 알고리즘", 한국군사과학기술학회지, 11(1), pp. 93-101, 2008년 2월.
- [6] 하중수, 이정수, 확률모델을 이용한 방호용레이다 효과도 분석, 국방과학연구소 연구보고서, pp. 10-12, 2008년 6월.
- [7] 박규철, 하중수, 이정수, 공영균, 홍성용, "확률 모델을 이용한 방호용레이다 효과도 분석 기법 연구", 제15회 지상무기 학술대회, 국방과학연구소, pp. 1-4, 2007년 11월.
- [8] Leon-Garcia, Alberto, *Probability and Random Process for Electrical Engineering*, 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 270-275, 1994.

박 규 철



1989년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 충남대학교 박사과정
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 근거리 레이다 시스템 설계, Rx/Tx 모듈 설계

홍 성 용



1985년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1996년 9월~현재: 충남대학교 전과

공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로