

저고도 계측레이더 시뮬레이터 개발

채규수*, 임중수*, 김민년*

*백석대학교 정보통신학부/RDRC KAIST
e-mail:gschae@bu.ac.kr

Development of a Simulator for Low-angle Tracking Radar

Gyoo-Soo Chae*, Joong-Soo Lim*, Min-Nyun Kim*

*Division of Information & Communication Eng.,
Baekseok University/RDRC KAIST

요 약

본 논문에서는 추적레이더의 추적 상태를 모의하는 시뮬레이터 개발에 관한 것이다. 먼저 저고도 추적 레이더의 연구내용을 분석 하였고 이를 바탕으로 Matlab을 이용한 추적오차 계산용 수치해석 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서는 고도 오차를 계산 할 때 안테나 빔 폭과 지면의 반사계수를 고려하여 좀 더 정밀한 시뮬레이터를 제시 하였다. 제시된 시뮬레이션 결과들이 이론적인 예측 결과와 잘 일치함을 볼 수 있다.

1. 서론

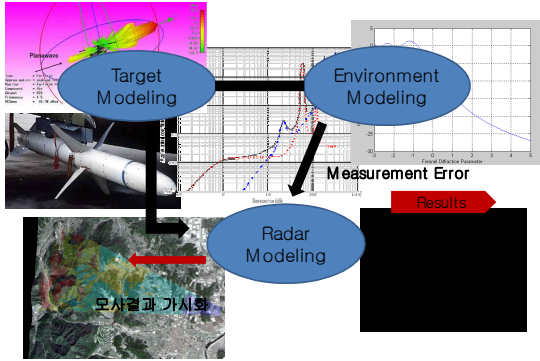
추적 레이더는 표적의 상대적인 위치 즉, 거리, 고각, 방위각, 속도 등을 계산하는데 사용된다. 그리고 얻어진 파라미터를 사용하여 표적의 경로를 예측하게 된다. 추적 레이더는 거리/속도 추적 방식과 각도 추적 방식을 사용한다. 일반적으로 단일표적 추적(single-target tracking) 레이더와 다중표적 추적(multi-target track-while-scan) 레이더로 구분된다. 추적레이더의 표적신호 감지/추적방식에는 표적의 표피로부터 반사되는 레이더신호를 이용하는 스킨추적(skin tracking)방식과 송신신호에 대한 표적의 응답신호를 추적하는 비콘 추적(beacon tracking)방식이 있다. 비콘 추적은 추적레이더와의 질문/응답이 가능한 응답기를 비행체에 탑재한 경우 사용될 수 있으며 아군 비행체의 추적이나 민간용으로 쓰인다. 그리고 대공방어 무기체계에는 거의 모두 스킨추적 방식을 사용하며, 표적추적 자료는 이동표적의 위치를 예측하여 무기체계의 주 사격방향과 발사시간을 정하며, 미사일 발사 관제용으로는 미사일을 계속 추적하여 궤적을 측정하고 폭발지점을 계산한다.

추적 레이더는 매우 좁은 빔폭의 안테나를 사용한다. 표적정보의 분해능은 안테나 빔 폭, 송신 펄스

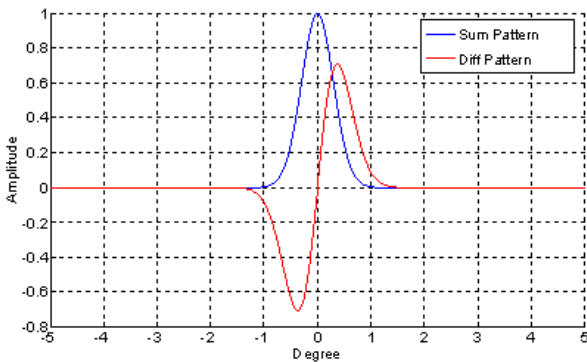
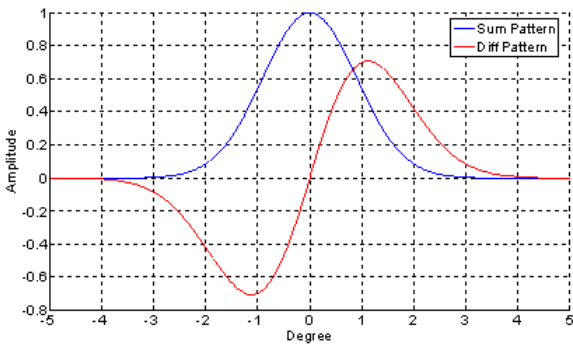
폭 및 도플러 대역폭 등에 따라 결정되는데 이들 변수들의 값은 탐지레이더의 변수값에 비해 상대적으로 작다. 표적획득이 이루어지면 추적레이더의 안테나는 이동표적의 위치좌표로 지향되고 표적거리에서 신호가 검출되면 표적을 추적할 수 있게 된다. 본 논문에서는 추적레이더가 저고도를 비행 하는 목표물을 추적하는 경우 지면이나 해수면의 반사 때문에 생기는 다중경로 추적 오차를 계산하고[1-7] 추적레이더 시뮬레이터 설계에 사용 할 기본 데이터를 수집하고자 한다.

2. 본론

추적 오차에 대한 많은 연구가 있었고 레이더로 수신되는 합 신호와 차 신호를 이용하여 추적오차를 계산 할 수 있다[4]. 그림 1에서는 이러한 레이더의 추적 상태를 모사 할 수 있는 시뮬레이터의 구성도를 보여주고 있다. 먼저 기본적인 레이더 방정식을 이용한 전계강도 계산을 수행 하고 지면의 반사계수, 지면의 고도, 날씨 등을 고려하는 환경 변수를 입력할 수 있도록 설계되었다. 그리고 목표물의 RCS를 고려한 신호의 세기를 계산하는 과정도 추가되었다.



[그림 1] 계측레이더 시뮬레이터 구성도



[그림 2] 사용된 합, 차 신호패턴

그림 2에서는 본 논문에서 사용된 합, 차 신호패턴을 보여주고 있으며 식 (1), (2)는 그림 3의 신호 패턴을 얻은 수식이다[4].

여기서 θ_b 는 3dB 빔 폭이며 본 논문에서는 1° 로 사용하였다. 그리고 θ 는 안테나 off-sight 각도 이고 a, b, c는 각각 1.386, 1.56, 0.9를 사용하였는데[4] 이 수치들은 안테나 빔 패턴의 모양을 결정하는 파라미터 들이다.

$$\Sigma(\theta) = e^{-a(\theta/\theta_b)^2} \quad (1)$$

$$\Delta(\theta) = c(\theta/\theta_b)e^{-b(\theta/\theta_b)^2} \quad (2)$$

식 (3), (4)에서는 레이더로 수신되는 신호의 합, 차

패턴이 나타나 있다. 여기서 ϵ 는 고도오차, ρ_s 는 지표면 반사계수, θ_0 는 지면반사 경로와 목표물 사이의 각과 고도오차를 포함 한 각도이다.

$$S = Ae^{j\omega t} \Sigma(\epsilon) + \rho_s Ae^{j(\omega t + \phi_s)} \Sigma(\epsilon - \theta_0) \quad (3)$$

$$D = Ae^{j\omega t} \Delta(\epsilon) + \rho_s Ae^{j(\omega t + \phi_s)} \Delta(\epsilon - \theta_0) \quad (4)$$

식 (3), (4)의 합, 차 신호비의 실수 값(식 5)이 고도 오차이며 이 오차 값을 0으로 하는 오차 각을 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 실제 고도 오차(Δh)는 ϵR 로 나타낼 수 있다. 오차 값은 실제 목표물까지의 거리(R)와의 곱으로 표현된다. 수치해석을 통해 식 (6)의 해를 구하면 오차 값(ϵ)을 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 본 연구에서 이 수치해석 프로그램을 구현하여 다양한 시뮬레이션 결과를 얻었다.

$$error = Re \left[\frac{D}{S} \right] = \left[\frac{D}{S} \right] \cos \phi_c \quad (5)$$

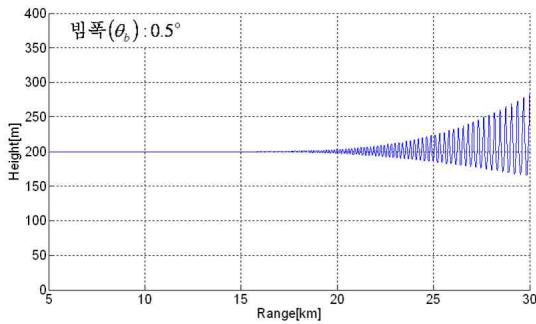
$$\begin{aligned} Re \left[\frac{D}{S} \right] &= \Delta(\epsilon) \Sigma(\epsilon) + \rho_s \Delta(\epsilon) \Sigma(\epsilon - \theta_0) \cos \phi_s \\ &+ \rho_s \Sigma(\epsilon) \Delta(\epsilon - \theta_0) \cos \phi_s \\ &+ \rho_s^2 \Delta(\epsilon - \theta_0) \Sigma(\epsilon - \theta_0) \cos \phi_s \\ &- \rho_s^2 \Delta(\epsilon - \theta_0) \Sigma(\epsilon - \theta_0) \sin \phi_s = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= \rho_s^2 (\theta_0 - \epsilon) \exp \left[(a+b)(2\epsilon - \theta_0) \theta_0 / \theta_b^2 \right] \\ &+ \rho_s \cos \phi_s \left\{ (\theta_0 - \epsilon) \exp \left[b(2\epsilon - \theta_0) \theta_0 / \theta_b^2 \right] \right. \\ &\left. - \epsilon \exp \left[a(2\epsilon - \theta_0) \theta_0 / \theta_b^2 \right] \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

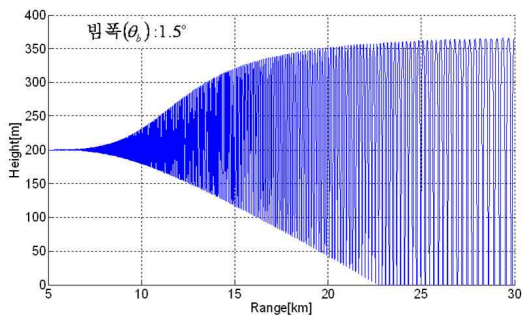
그림 3에서는 목표물 위치에서 신호의 오차 값에 거리(R)를 곱하여 실제 목표물 위치에서의 고도 오차를 안테나의 패턴을 고려하여 두 가지 경우에 대하여 계산 한 결과이다.

그림 4에서는 식 (6)에 나타난 반사 계수를 고려 할 때 확산 계수를 고려하지 않은 경우(기존 방법)와 본 논문에서 제안한 방법과의 비교가 나타나 있다. 전체적으로 확산 계수를 고려한 본 논문의 방법으로 구한 고도오차가 더 많이 나고 있음을 알 수 있고 실제 실험 결과와도 유사한 특징을 보이고 있다. 실제 측정 데이터에서도 거리가 25km이상 인 경우 150m정도의 오차를 보이고 있음을 보았다. 그림 6에서는 안테나의 빔 폭이 변하는 경우 오차 값을 나타내고 있다. 안테나의 빔 폭에 따라 반사되는 위치

가 다르게 되므로 오차 값에 큰 영향을 주는 요소가 된다. 기존의 연구[4]에서는 고려되지 않았고 본 연구에서 개발된 프로그램을 사용하여 결과를 얻었다.

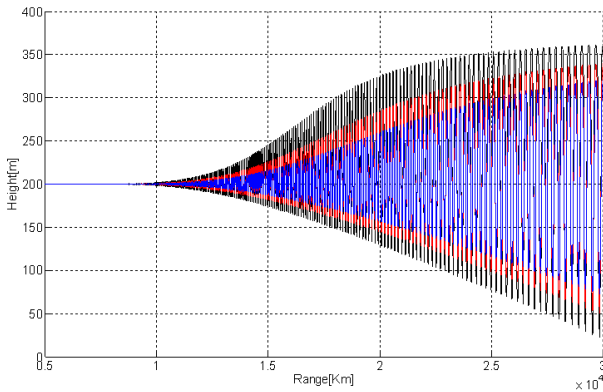


(a)



(b)

[그림 3] 거리에 따른 안테나 빔 폭의 차이에 의한 오차 값
(a) 3dB-빔 폭 0.5° (b) 3dB-빔 폭 1.5°



[그림 4] 반사계수에 따른 고도오차

3. 결론

본 논문에서는 다중경로에 의한 추적레이더의 추적 상태를 모사하기 위한 시뮬레이터 개발을 하기위한 기본적인 오차 계산 프로그램의 결과를 소개하였다. 기존에 여러 문헌에서 소개된 저고도 추적 레이더의 연구내용을 분석 하였고 이를 바탕으로 Matlab를 이용한 추적오차 계산용 수치해석 프로그램을 개발하였다. 개

발된 프로그램의 검증을 위해 기존 연구내용과 비교 하였고 결과가 잘 일치되었다. 본 연구에서는 고도 오차를 계산 할 때 안테나 빔 폭과 지면의 반사계수를 고려하여 좀 더 정밀한 오차 계산방법을 제시 하였다. 기존 연구에서는 일반적인 오차 값의 경향을 예측하는 내용이었으나 본 연구에서 제시된 시뮬레이션 결과들은 실제 환경을 고려한 고도 오차 계산 방법이 제시된 것이다.

참고문헌

- [1] M. D. Aasen, "Methods for predicting interference effects in tracking radars," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 6, Issue 3, pp. 49-57, Oct. 1964.
- [2] W. D. White, "Low-angle radar tracking in the presence of multipath," *IEEE Trans. on Aerospace & Electronic Systems*, Vol. AES-10, no. 6, Nov. 1974.
- [3] D. B. Barton, "Low-angle radar tracking," *Proceedings of the IEEE*, vol. 62, no. 6, June 1974.
- [4] A. V. Marstik, P. G. Smith, "Multipath limitations on low-angle radar tracking," *IEEE Trans. on Aerospace & Electronic Systems*, Vol. AES-14, no. 1, Jan. 1978.
- [5] V. G. Borkar, A. Renuka, A. Ghosh, and A. K. Kapoor, "Simulation method identifies multipath tracking errors," *Microwaves & RF*, pp. 55-62, Feb. 2001.
- [6] A. Sinha, Y. Bar-shalom, W. D. Blair, and T. Kirubarajan, "Radar measurement extraction in the presence of sea-surface multipath," *IEEE Trans. on Aerospace & Electronic Systems*, Vol. 39, no. 2, April 2003.
- [7] David K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, Norwood, MA, 2005.