레이더의 추적오차 예측 시뮬레이터 구현

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

Development of a Radar Simulator for tracking error estimation

Gyoo-Soo Chae*, Joong-Soo Lim*, Min-Nyun Kim*
Division of Information & Communication Eng.,
*Baekseok University/RDRC KAIST

요 약

본 논문은 추적레이더의 추적 오차를 예측하기위한 레이더 시뮬레이터 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 다중경로 전파특성, 표적 모델링, RPY 보상, DTM 지형데이터 등을 이용한 전파의 전파특성 분석을 통한 표적추적레이더의 추적 오차 요인을 분석하였다. 이를 바탕으로 추적 오차를 줄이기 위해 추적 레이더의 서보 특성과 서보 구동의 지연보상을 위한 $\alpha-\beta$ 필터를 사용하였다. 표적 추적레이더의 추적 상황을 종합적으로 고려하여 추적 상황을 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이터를 구현 하였다.

1. 서 론

전장에서 운용되는 무기체계의 비행시험 수행 시 다양한 환경에서의 레이더 계측이 수행되어야 한다. 다중표적 추적, 급 기동 표적 추적, 저고도 비행표적 추적 등 고난이도의 추적레이더 계측 시 추적실패 가능성이 존재한다. 그래서 비행시험 계측 전에 보유중인 다수의 계측 레이더의 추적 상황을 미리 모사함으로서 실제 비행시험 수행 시 계측 성공률을 높이고 다수의 계측 레이더를 보다 효과적으로 운용할 수 있는 방안 도출이 필요하다. 추적 레이더는 표적의 상대적인 위치 즉, 거리, 고각, 방위각, 속도 등을 계산하는데 사용된다[1]. 그리고 얻어진 파라미터를 사용하여 표적의 경로를 예측하게 된다. 추적 레이더의 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 펄스폭 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 추적레이더의 주요 오차 요인인 다중경로 전파, 표적의 전파 반사 특성, 비행체의 RPY, 불규칙한 반사면 등을 고려한 전파의 전파특성을 분석하였다[2-7]. 이를 바탕으로 추적 오차를 줄이기 위해 추적 레이더의 서보 특성을 고려하였으며 서보 구동의 지연보상을 위한 $\alpha-\beta$ 필터를 적용하였다. 표적 추적레이더의 추적 상황을 종합적으로 고려하여 추적 상황을 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이터를 설계하고 구현 하였다.

2. 본론

저고도 비행표적 추적 시 레이더의 추적오차에 대한 종합적인 연구가 진행 되었다[8]. 일반적으로 추적 오차는 레이더로 수신되는 합 신호와 차 신호를

이용하여 계산 할 수 있다[5]. 그림 1에서 표적추적 시뮬레이터의 전체 구성도가 나타나있다. 구현된 시뮬레이터는 운용시나리오 모듈, 추적연산모듈, 환경변수 설정 모듈 그리고 결과도시 모듈로 구성되어있다. 운용 시나리오 모듈에서는 예상 비행궤적 설정, 표적의 RCS, 레이더 안테나의 빔 패턴, DTM지형데이터, 레이더 파라미터 등이 설정된다. 추적 연산모듈에서는 DTM 지형데이터를 이용하여 다중경로 전파 특성을 이용한 전파 신호 분석과 다중경로에 의한 오차가 계산된다. 표적추적 시뮬레이터의 추적오차 계산과정이 그림 2에 나타나 있다. 먼저 주파수, 거리, 표적 속도 등의 입력 파라미터를 결정한다. 그리고 수신기에 수신되는 필드의 세기를 계산하고 각 안테나에 수신된 전계로부터 진폭차를 구한다. 진폭차이가 0이 되는 위치로 표적의 추적 방향이 결정되고 다음 위치로 이동하게 된다. 표적 오차 시뮬레이터의 추적 오차계산은 표적의 이동에 따라서 변경되는 입력 데이터, 시험하는 환경의 지형고도, 일기나 해상 상태, 반사표면 상태에 따라서 변하는 환경데이터부에서 필요한 입력 자료가 입력된다.

전산모의 실험부에는 레이더의 다중경로 전파의 전파 모델과, 서보 모델링, $\alpha-\beta$ 추적 필터와 같은 필터 알고리즘이 포함되며, 출력 데이터는 비행체의 실제 궤적과 전파의 다중경로 특성 등에 의한 비행체의 오차 경로가 계산된다. 비행체의 오차 경로는 레이더의 주파수, 운용거리, $\alpha-\beta$ 필터 적용 여부 등에 따라서 달라진다.

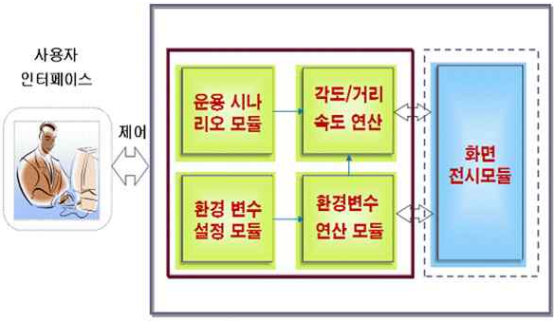
$\alpha-\beta$ 필터를 사용한 위치 추적 시스템의 위치 예측은 다음 식으로 주어진다[1].

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ \hat{x}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k \\ \hat{x}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta/T \end{bmatrix} \left[z_k - \hat{x}_k \right] \quad (1)$$

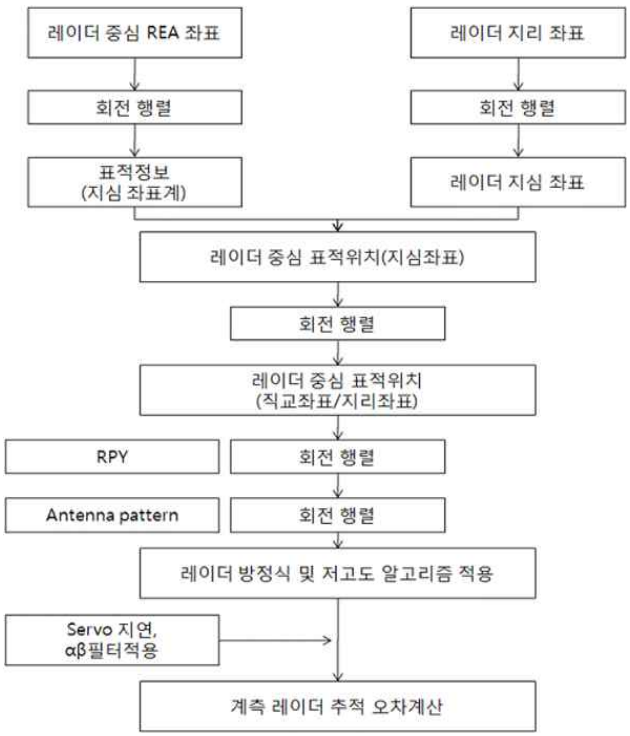
여기서, α, β는 $\alpha-\beta$ 필터의 계수이고 T는 샘플링 시간이다. $\alpha-\beta$ 필터를 사용한 경우 비행체의 가속운동에 따른 서보의 가속오차상수(Ka)는 다음과 같이 주어진다[1].

$$K_a = 2.5\beta_n^2 = \frac{\beta}{(1-\alpha)t_s^2} \quad (2)$$

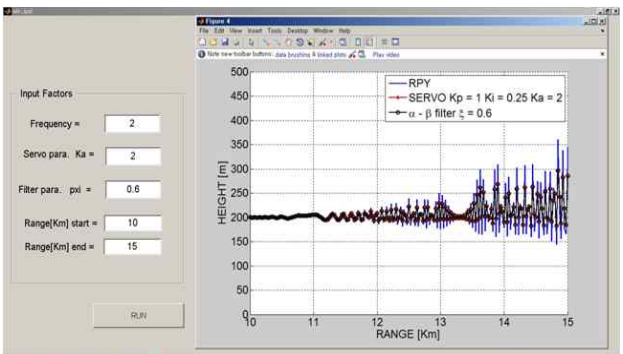
여기서, β_n은 잡음대역폭(noise bandwidth)이고 t_s는 레이더의 관측 시간간격이다. K_a는 서보의 오차보정을 위해 가장 중요한 요인이다. 본 연구에서는 K_a가 1, 2인 경우를 가정하고 시뮬레이터를 구성하였다.



[그림 1] 추적레이더 시뮬레이터 구성도



[그림 2] 추적오차 계산의 세부과정

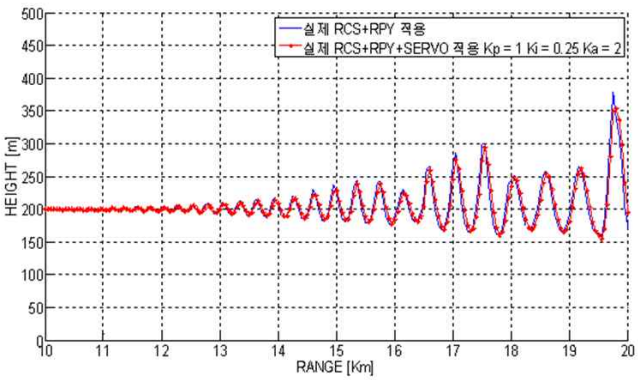


[그림 3] 거리에 따른 안테나 빔 폭의 차이에 의한 오차 값 (a) 3dB-빔 폭 0.5° (b) 3dB-빔 폭 1.5°

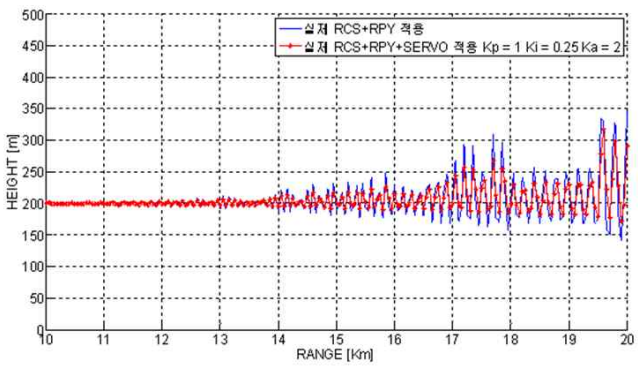
그림 3에서는 기존 연구[8]에서 제시되었던 결과를 이용하여 시뮬레이터를 사용하여 표적추적오차를 모사하는 시뮬레이터의 실제 화면을 보여주고 있다. 사용자의 편의를 위해 GUI로 구성이 되었으며 화면 왼쪽에 다양한 파라미터를 입력 할 수 있게 하였고 오른쪽에서 결과도시 화면을 배치하였다. 입력 파라미터는 주파수, 서보상수(K_a), 필터파라미터(ζ), 거리 등으로 구성되었다.

그림 4와 5는 계측레이더를 기준으로 8-8.5km와 9-9.5km에 섬이 존재하는 바다에서 레이더의 높이가 230m, 표적의 고도가 200m, Ka=2일 때 f=2.0GHz와 f=6.0GHz인 경우에 대한 표적추적 결과이다. RCS, RPY, 서보 적용으로 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있지만 여전히 약간의 오차가 존재함을 볼 수 있다.

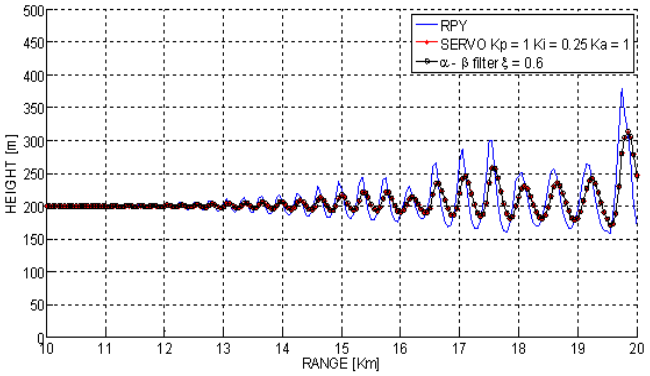
그림 6, 7, 8은 계측레이더를 기준으로 8-8.5km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재하는 바다에서 레이더의 높이가 230m, 표적의 고도가 200m, Ka=1일 때 f= 2.0 GHz, f= 6.0 GHz, f= 9.0 GHz인 경우에 대한 표적추적 결과이다. 전체적으로 필터를 사용하지 않은 경우보다 목표물을 잘 추적 하는 것으로 보인다.



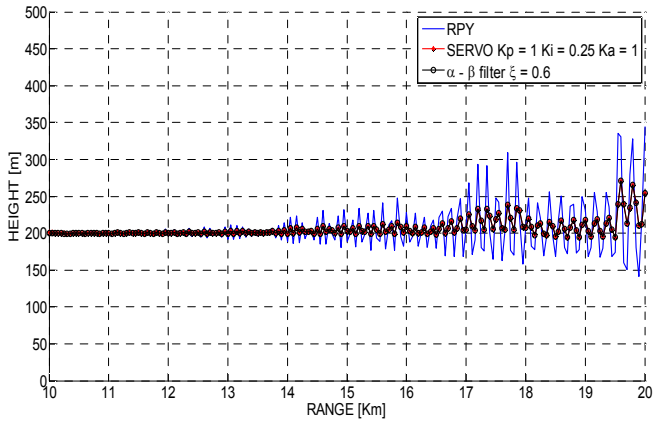
[그림 4] 표적추적 오차(8-8.5km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재, @2.0GHz)



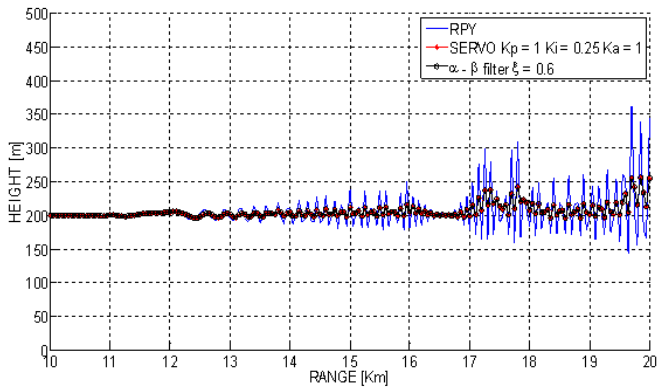
[그림 5] 표적추적 오차(8-8.5 km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재, @6.0GHz)



[그림 6] $\alpha-\beta$ 필터 적용 시 표적추적 오차(8-8.5km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재, @2.0 GHz)



[그림 7] $\alpha-\beta$ 필터 적용 시 표적추적 오차(8-8.5km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재, @6.0 GHz)



[그림 8] $\alpha-\beta$ 필터 적용 시 표적추적 오차(8-8.5km와 9-9.5km 위치에 섬이 존재, @9.0 GHz)

3. 결론

본 논문에서는 기존에 여러 문헌에서 소개된 저고도 추적 레이더의 연구내용을 분석 하였고 이를 바탕으로 Matlab를 이용한 추적오차 계산용 수치해석

프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 검증을 위해 기존 연구내용과 비교 하였고 결과가 잘 일치 되었다. 기존 연구에서는 일반적인 오차 값의 경향을 예측하는 내용이었으나 본 연구에서 제시된 시뮬레이션 결과들은 실제 환경을 고려한 고도 오차 계산 방법이 제시된 것이다. 그리고 다중경로 전파특성, 표적 모델링, RPY 보상, DTM 지형데이터 등을 이용한 전파의 전파특성 분석을 통한 표적추적레이더의 추적 오차 요인을 분석하였다. 이를 바탕으로 추적 오차를 줄이기 위해 추적 레이더의 서보 특성과 서보 구동의 지연보상을 위한 $\alpha-\beta$ 필터를 사용하였다. 표적 추적레이더의 추적 상황을 종합적으로 고려하여 추적 상황을 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이터를 구현 하였다.

참고문헌

[1] David K. Barton, *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, Norwood, MA, 2005.

[2] 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.

[3] 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.

[4] D. B. Barton, "Low-angle radar tracking," *Proceedings of the IEEE*, vol. 62, no. 6, June 1974.

[5] 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.

[6] V. G. Borkar, A. Renuka, A. Ghosh, and A. K. Kapoor, "Simulation method identifies multipath tracking errors," Microwaves & RF, pp. 55-62, Feb. 2001.

[7] 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.

[8] 채규수, 임중수, 김민년 "저고도 계측레이더 시뮬레이터 개발" 한국산학기술학회 추계학술대회논문집, pp. 831 - 833, 2009.