계측레이더 추적 시뮬레이터 개발

A Development of Instrumentation Radar Tracking Status Simulator

예 성 혁*

Sung-Hyuck Ye

류 충 호*

Chung-Ho Ryu

황 규 환*

Gyu-Hwan Hwang

서 일 환*

Il-Hwan Seo

김 형 섭*

Hyung-Sup Kim

Abstract

Defense Systems Test Center in ADD supports increasingly various missile test requirements such as higher altitude event, multi target operation and low-altitude, high velocity target tracking.

In this paper, we have proposed the development of instrumentation radar tracking status simulator based on virtual reality. This simulator can predict the tracking status and risk of failure using several modeling algorithms. It consists of target model, radar model, environment model and several algorithms includes the multipath interference effects.

Simulation results show that the predict tracking status and signal are similar to the test results of the live flight test. This simulator predicts and analyze all of the status and critical parameters such as the optimal site location, servo response, optimal flight trajectory, LOS(Line of Sight). This simulator provides the mission plan with a powerful M&S tool to rehearse and analyze instrumentation tracking radar measurement plan for live flight test at DSTC(Defense Systems Test Center).

Keywords : Instrumentation Radar(계측 레이더), Test Range(시험장), Lag Compensation(레그 보상), Tracking Status(추적 상태), Multipath Effect(다중경로 간섭), Target Antenna Modeling(표적 안테나 모델링), Modeling & Simulation(모델링 시뮬레이션)

1. 서 론

유도무기체계 개발과정 중 시험평가 단계에서 수행하는 실제 비행시험(live flight test)은 개발 무기체계의 종합적인 성능 확인을 위함이다. 유도 무기체계의 정밀화와 첨단화는 체계 운용상의 효과도를 높였으나,

이에 따른 무기체계의 비용 상승을 가져왔으며, 과거에 비교하여 개발단가의 상승은 비행시험의 수행비용 증가 및 일정 지연에 따라서 미치는 영향이 상대적으로 증가하므로 사업관리 관점에서 최소한의 비행시험으로서 요구되는 시험평가를 종료해야만 한다.

비행시험을 수행하는 시험장(test range)에서는 시험계측 자료를 획득하기 위하여 다양한 계측시스템들을 운용하는데, 주요 계측장비로는 탄도계측을 위한 계측레이더(instrumentation radar)와 내부 상태자료를 획득할 수 있는 원격측정(telemetry) 장비, 초기 및 비행경

† 2011년 2월 15일 접수~2011년 5월 13일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 예성혁(harbeth@add.re.kr)

로상의 영상을 획득하는 광학계측 장비 등이 있다. 계측 레이더는 송신파에 대한 표적 반사파를 추적하는 스킨(skin) 추적방식과 무기체계에 탑재된 비콘 트랜스폰더(beacon transponder)에서 코드화된 레이더 송신 펄스에 대하여 생성된 응답 펄스를 추적하는 비콘(beacon) 추적 방식으로 구분할 수 있는데, 대부분의 유도무기 비행시험에서는 거리에 대한 신호대잡음비(SNR:Signal to Noise Ratio)의 감소가 스킨 추적 방식보다 적으며, 클러터에 대한 영향이 적기 때문에 양질의 계측자료를 획득할 수 있는 비콘 추적방식을 사용하고 있다.

다중표적, 고기동, 고속 저고도 비행, 부스터 분리 등과 같이 비행 중에 발생하는 이벤트 현상은 기존 시험장에서 사용되고 있는 계측 시스템의 운용 개념에서 벗어난다. 따라서 전체 비행시험 구간에서 만족할 만한 계측 자료 획득을 위해서는 계측 시스템의 추적 상태를 시뮬레이션하고, 계측 실패 가능성이 존재하는 위험 비행구간에 대한 신호 세기 및 오차 원인을 사전에 예측할 수 있는 비행시험 임무 계획(mission planning)의 수립이 요구된다.

계측 레이더 추적 시뮬레이터는 미래 전장에서 운용될 첨단 정밀 무기체계의 성능 검증을 위한 비행시험에서 고난이도의 계측 요구조건을 충족하여 계측 레이더의 성공적인 탄도계측을 위한 임무 계획수립과 이상 발생 시의 계측 자료 분석을 위해 개발되었다^[1,2].

본 논문에서는 무기체계 시험평가 단계에서 수행되는 비행시험에서 적용되는 모델링 및 시뮬레이션(Modeling & Simulation) 도구인 계측레이더 추적 상태 시뮬레이터의 개발을 위한 개념 및 구조설계, 모델링 및 시뮬레이션, 시스템 구현 및 시뮬레이션 결과 분석을 효율적으로 수행하기 위한 3차원 가시화 장치 구현, 그리고 시뮬레이션 결과와 결론에 대해서 기술하였다.

2. 개념 및 구조 설계

시뮬레이션을 통하여 문제 해결을 수행하기 위하여 사용하는 모델을 개념모델이라 정의하는데, 계측레이더 추적 시뮬레이터의 개발 전 이를 정의하기 위하여 표준 모델링 언어인 UML(Unified Modeling Language)의 유즈케이스 다이어그램(use case diagram)을 Fig. 1과 같이 정의하였다^[3]. Fig. 1에서는 주요 이해당사자

들과 시뮬레이터를 개발하기 전에 생성된 주요 요구사항에 대한 구성 요소를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 계측 레이더 추적 시뮬레이터의 구성도를 나타낸 것으로서 시뮬레이터의 입력은 모델링 자료이며, 표적 모델링(target modeling), 레이더 모델링(radar modeling) 그리고 환경 모델링(environmental modeling)으로 구성되며, 예상 궤적, 대상 표적 등을 결정하는 시나리오 상황에 따라서 추가적으로 표적의 시간대별 자세 및 상대적 지리좌표에 대한 레이더 추적상태 시뮬레이션을 위하여 레이더 기준의 좌표변환, 저고도 추적 상태, 레이더 추적신호 상태, 광학추적장비의 영상획득 예측, 추적 시스템의 서보 특성에 따른 동적 추적오차(dynamic lag error) 추정 그리고 예측자료의 위험도 분석 등이 가능하다.

Fig. 1. 시뮬레이터 use case diagram

Fig. 2. 계측 레이더 추적 시뮬레이터 구성도

3. 모델링 및 시뮬레이션

계측 레이더의 추적상태를 시뮬레이션 하기 위하여

충실한 모델링이 바탕이 되어야만 한다. 시뮬레이터는 표적, 레이더, 환경 모델링과 모델링 값을 이용한 여러 가지 분석이 가능한 추정 알고리즘으로 구성된다.

가. 표적 모델링

표적 모델링은 적용 무기체계에 장착된 안테나 특성과 설치 위치 및 안테나 개수에 의해 변화되는 안테나 패턴 모델링과 표적의 시간별 자세자료(pitch, yaw, roll)로 정의한다. 비행체에 장착된 안테나에 대한 모델링의 전자계 계산이론은 주파수 파장보다 표적의 크기가 큰 경우에는 PO(Physical Optic), PTDT(the Physical Theory of Diffraction), SBR(Shooting and Bouncing Rays), UTD(Uniform Theory of wedge Diffraction) 방식 등 고주파 방식의 전자기 해석법을 주로 사용하는데, 근사화 방식이므로 전체 안테나 빔 방사패턴에 대하여 정확한 값을 예측하기에는 어려운 실정이다. 특히 안테나 패턴의 부엽과 같은 성분에 대한 정확한 예측 값을 얻기 위하여 저주파 방식의 FEM(Finite Element Method), FDTD(Finite Differential Time Domain), MoM(Moment of Method) 등을 주로 사용하여 안테나 소자 등 소형 구조체에 대한 해석을 수용하는데 사용한다. 저주파 방식은 고주파 방식에 비하여 정확한 해를 얻을 수 있으나, 비행체에 장착된 안테나 모델링을 위해서는 수 만개에서 수백만 개의 메쉬(mesh) 계산을 수행해야하므로 많은 어려움이 있었다. 그러나, 정보통신 기술의 발달에 따른 컴퓨터 계산 능력의 향상, 메모리의 증가 그리고 새로운 알고리즘의 개발은 수백만 개의 메쉬 구조체에 대하여 full wave 해석이 가능케 하였다^[4,5]. Fig. 3은 국내에서 운용 중인 지대지 유도무기 체계인 ATACMS의 형상으로서 전자계 모델링을 위하여 CAD로 작성한 간이 근사체를 좌측에 나타내었다.

ATACMS는 직경이 0.6m이고 길이 3.9m로 사거리 300km인 지대지유도무기체계로 두 개의 비콘 안테나가 중앙 부에 장착되었다고 가정하였으며, 전자계 해석은 MoM의 basis function을 그룹으로 구성하고 상기 그룹간의 상호작용을 계산하는 MLFMM(Multiple Layer Fast Multipole Method) 방식을 사용하였다^[5,6].

MLFMM은 메모리 효율성이 뛰어나며, 다수의 코어를 가진 다중 중앙처리장치를 이용한 분산처리 환경에서 보다 강력한 계산 기능을 발휘할 수 있다. Fig. 4는 ATACMS 표적에 대하여 MLFMM으로 해석된 안테나 모델링 결과를 나타낸 것이다. 이때 안테나 빔 방사 패턴은 두 개의 안테나 중 한 개의 안테나에서

동작한 경우를 고려한 것이다. 해석을 위해서는 약 130만개의 unknown을 해석하였으며, 64비트 OS운용체 제하의 PC 워크스테이션을 사용하였을 때, 약 33GByte의 메모리와 50여 시간이 소요 되었다.

Fig. 3. 대구조체 전자계 해석 모델링 무기체계

Fig. 4. 표적의 안테나 모델링 결과

표적의 안테나 모델링 결과로 얻어진 자료의 바이너리(binary) 또는 ASCII 형태의 원시자료(raw data)는 각 도별 지향성 값과 안테나 이득을 표시한다. 안테나 이득값과 시나리오에 의해서 형성된 시간대 비행궤적과 함께 추정된 시간대별 표적의 자세자료, 표적의 3차원 형상이 시뮬레이션의 표적 모델링 자료로 사용한다.

나. 레이더 모델링

레이더 모델링은 계측 레이더에 대한 모델링을 의미하며 계측 레이더의 주요 특성을 모두 포함해야만 한다. 여기서 레이더는 현재 운용중인 파라볼릭 안테나를 가지고 진폭비교 모노펄스 방식의 단일 표적 추적 레이더로 가정한다. Fig. 5는 운용중인 계측레이더를 나타낸 것으로서 파라볼릭 안테나와 기계식 페데

스텔 구조를 갖고 있으며, 고출력을 얻기 위하여 마그네트론을 종단 출력소자로 사용하였다. 레이더 시스템의 모델링은 레이더 방정식에 따른 표적 추적시의 신호대잡음비 및 레이더 상태오차를 추정하기 위한 레이더 시스템의 고유 변수를 포함하는데, 송수신 안테나의 패턴, 송신 전력, 펄스 반복 주파수(PRF : Pulse Repetition Frequency), 펄스폭, 그리고 추적 응답을 결정하기 위한 서보의 특성을 포함해야만 한다. 각도오차 정도를 결정하는 모노펄스 비(monopulse ratio)는 레이더의 추적상태를 예측하는 데 중요한 변수이므로 이를 포함하였다. 표적 모델링과는 달리 계측 레이더의 안테나 모델링은 전체 부분을 다 고려하지 않고, 실제 추적에 사용되는 최소 부분의 빔 패턴인 안테나 유효 빔 패턴의 4~5배에 해당하는 부분만 적용하였다. 이를 위하여 파라볼릭 안테나의 빔 방사 패턴의 경우, 2차 곡선으로 근사화 될 수 있으므로 이를 적용하였다^[2,4].

Fig. 5. 모노펄스 추적방식의 계측레이더

계측 레이더의 서보(servo) 특성은 실제 추적능력을 추정하기 위한 중요한 변수로서 본 레이더 모델링에서는 서보를 Type-II 서보로 가정하여 응답과 주파수 대역폭에 따른 동적 추적 오차를 결정하였다. Fig. 6은 레이더의 동적 추적 오차의 이해를 돕기 위한 개념도로서 표적의 이동에 따른 페데스텔의 상대 각속도가 변화하게 됨을 알 수 있다. 서보의 응답이 느리면 오차가 누적되는데, 오차 누적이 일정시간 지속되면 표적을 추적할 수 없다. 역으로 서보의 응답이 너무 빠른 경우 잡음이 증가하여 획득된 궤적자료의 신뢰성이 저하된다.

Fig. 6. 표적 추적 시 동적 추적 오차

다. 환경 모델링

환경 모델링은 계측 레이더 추적 상태 시뮬레이션 충실도와 현장감을 높이기 위하여 구현되는 중요 모델링 요소로서 시험장 인근의 대기 환경, 기상, 파고 등의 환경요소와 3차원 디지털 지도 그리고 디지털 지도 내에 건물 및 지리 정보와 산, 논, 밭과 같은 대지 정보를 포함하는 GIS(Geographic Information System) 정보를 의미한다.

계측 레이더 추적 시뮬레이터에서는 시험장내 존재하는 지리정보로서 발사장, 추적소, 탄착지 및 중요 기준점 등이 있으며, 지리정보 충실도를 높이므로 시뮬레이션 결과를 3차원 영상으로 가시화하였을 때 실제 시험 환경과 같은 시각적 효과만이 아닌 영상 예측 재현성을 높였다. 기상 정보는 온도, 풍향, 풍속 등을 입력할 수 있으며, 이에 따라서 발생하는 파고를 모델링을 수행하여 확인할 수 있다. 가시화 정도는 안개나 해무 정도에 따라서 발생하는 최대 가시거리에 대한 영향 확인이 가능하며, 천체의 위치 역시 중요한 환경적 변수로 고려될 수 있다. 시험 수행 시간에 따라서 변화되는 태양과 달의 위치는 역광 정도를 유추토록 구현 하였다.

라. 레이더 추적상태 예측 알고리즘

추적상태 예측 알고리즘은 시나리오에 따라서 계측 레이더나 주요 기준점에 대한 표적의 상대적인 위치

를 나타내는 좌표변환 알고리즘과 표적 상태정보 및 레이더의 안테나 사이의 상대적인 각도에 따른 벡터 좌표와 안테나 이득 값을 확인하는 알고리즘으로 구성되었다.

대상 표적이 저고도 비행 상태에서 간섭 오차 예측을 위한 다중경로 간섭 추정 알고리즘, 표적의 급격한 기동에 의해 발생하는 레이더 페테스텔의 상대적인 각속도 변화에 따른 동적 추적 오차 추정, 그리고 레이더 방정식을 기반으로 한 계측 레이더의 SNR 추정 알고리즘이 포함되어 있다. 일반적인 비콘 추적모드에서의 레이더 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_B G_{TB} G_R \lambda^2 \tau_B}{(4\pi)^2 R^2 k T_s L} \quad (1)$$

여기서 $P_B[\text{Watt}]$ 는 비콘 송신기의 침투 전력, $G_{TB}[\text{dB}]$ 는 표적 안테나 이득, $G_{Rl}[\text{dB}]$ 는 레이더 안테나 이득, $\lambda[\text{m}]$ 는 레이더 파장, $\tau_{Bl}[\text{m}]$ 는 비콘 펄스 폭, $R[\text{m}]$ 는 레이더와 표적사이의 거리, $k[\text{J/deg.}]$ 는 볼츠만 상수, T_s 는 시스템 잡음 온도. $L[\text{dB}]$ 은 레이더 비콘 추적간 손실이다.

식 (1)은 시간에 대한 함수로서 거리의 변화와 표적의 자세 변화에 따른 안테나 지향 이득의 변화를 고려해야 하므로 거리 R 과 표적 안테나 이득 G_{TB} 를 시간에 대한 변수로 대치하여 식 (2)로 표현한다.

$$\frac{S}{N}(t) = \frac{P_B G_{TE}(\theta(t), \phi(t)) G_R \lambda^2 \tau_B}{(4\pi)^2 R(t)^2 k T_s L} \quad (2)$$

여기서 $\theta(t)$, $\phi(t)$ 는 표적 모델링을 통해서 얻는 3차원 안테나 패턴에서 추출한 각도 정보이며, 이때의 안테나 이득을 사용한다.

저고도 간섭현상은 예상 시나리오에 의한 비행계획 중에서 초기 발사구간과 전체 경로 상에서 낮은 고도가 생성될 때 발생되며, 대개 안테나 유효 빔폭의 $\pm 50\%$ 까지 그 영향이 발생한다. 레이더 안테나의 유효 빔폭이 0.8° 라면, 레이더의 고각이 1.2° 인 경우에 다중 경로 간섭 현상이 시작된다. 레이더 수신 신호는 표적에서 레이더로 직접 입력되는 직접파 성분과 함께 해수면 또는 지면에 반사되어 입력되는 반사파 성분 두 성분이 존재하는데, 두 개의 수신신호가 모노펄스의 합 채널과 차 채널에 입력되어 차 채널의 입력된 신

호간의 위상차와 크기에 따라 전체 추적 오차가 결정된다. Fig. 7은 레이더가 표적을 추적하는 경우에 다중경로간섭의 영향을 나타낸 것이다.

레이더의 모노펄스 추적시의 합 채널과 차 채널의 차이값의 변화를 고려해야만 하는데, 추적 오차를 표시하기 위하여 합과 차 성분을 이용하여 식 (3)으로 나타내었다^[9].

Fig. 7. 다중경로 간섭 생성도

$$\mathcal{E}_r = \frac{\Delta_d + \Delta_r \exp(j\alpha)}{\Sigma_d + \Sigma_r \exp(j\alpha)} \quad (3)$$

여기서 α 는 직접파와 반사파간의 위상차를 Δ_d 는 차 채널의 직접파 성분, Δ_r 은 차 채널의 지면반사파 성분, Σ_d 는 합 채널의 직접파 성분, Σ_r 는 합 채널의 지면반사파 성분을 의미한다. 각각의 성분에 대하여 수신 전력은 식 (4)~식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta_d = \frac{P_l G_l G_{r\Delta\theta}}{4\pi R^2} \quad (4)$$

$$\Delta_r = \frac{P_t G_t G_{r\Delta\Psi} \rho^2}{4\pi(R_1 + R_2)^2} \quad (5)$$

$$\Sigma_d = \frac{P_t G_t G_{r\Sigma\theta}}{4\pi R^2} \quad (6)$$

$$\Sigma_r = \frac{P_t G_t G_{r\Sigma\Psi} \rho^2}{4\pi(R_1 + R_2)^2} \quad (7)$$

여기서 P_t 는 송신 전력, G_t 는 송신안테나 이득, $G_{r\Delta\theta}$ 는 차 채널의 직접파 입력신호, $G_{r\Delta\psi}$ 는 수신단의 차 채널 반사파, $G_{\Sigma\psi}$ 는 수신단의 합 채널의 직접파,

그리고 $G_{r, \Sigma}$ 는 수신단의 합 채널의 반사파에 대한 입력 방향에 따른 안테나 이득을 의미한다. 1차적으로 반사파는 specular region에서 발생한다고 가정하였다.

또한 오차정도와 알고리즘으로 구현한 값의 변화 및 신호대잡음비 변화율 등을 고려하여 최적화된 추적 상태를 표시할 수 있도록 알고리즘을 구현하였다.

4. 시뮬레이터 구현

가. 시스템 구조

표적, 레이더, 환경 모델링 자료와 레이더 상태추정 알고리즘에 대하여 비행시험 예상시나리오 및 궤적에 따른 시뮬레이션을 수행하는 계측 레이더 추적 시뮬레이터의 시스템 아키텍처를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 제시한 바와 같이 네트워크 기반으로 상호 자료 교환이 가능토록 구성하였는데, 시스템은 추적 상태 시뮬레이터(tracking status simulator), 표적 전자계 모델링 워크스테이션(target CEM workstation), 3차원 가시화 시연기(3D visualization processor)로 구성되었다.

Fig. 8. 계측 레이더 추적시뮬레이터 시스템 아키텍처

시스템 간의 연동을 위하여 표적의 전자계 안테나 모델링을 수행하는 표적 전자계 모델링 워크스테이션의 모델링 결과는 메인 프로세서인 추적상태 시뮬레이터로 전송되거나 표적 모델링 데이터베이스에서 저장되어 시뮬레이션의 기반자료로 사용된다. 레이더 모델링 자료는 시뮬레이터의 레이더 모델링 데이터베이스

스에 존재한다. 환경 모델링 자료는 임의의 상태자료에 따른 결과를 예측하기 위한 것으로 변수형태로 고려하도록 하였다. 계산된 시뮬레이션 결과는 네트워크를 통하여 3차원 가시화 장비에 전송되는데 가시화 장비는 2대의 동일한 사양의 워크스테이션을 사용하여 시뮬레이션의 상태 정보, 추적 장비에서의 예상 획득 화면, 추적 시스템의 상태, 역광 정도, 가시거리 분석(line of sight) 결과를 제시한다.

나. 레이더 추적 시뮬레이터

추적상태 시뮬레이터는 Matlab 기반으로 작성되었는데, 사용자 화면은 제어를 위한 입/출력부와 상태 표시부로 구성된다. Fig. 9는 시뮬레이터 입력 화면을 나타낸 것이다. 시뮬레이터의 입출력 자료들은 모두 ACSII 형태의 텍스트 파일로 구성된다. 입력변수로 지정된 여러 파일을 이용하여 시뮬레이션을 수행하는데, Fig. 9에서처럼 비행궤적 시나리오에 의해 얻어진 레이더의 예상 추적 좌표, 표적의 상태값, 안테나 모델링 결과가 도시되며, Fig. 10은 시뮬레이터의 결과를 보여주는 창으로서 식 (1)과 같은 일반적인 레이더 방정식을 이용한 결과와 모델링을 통해 얻어진 다양한 변수값을 입력으로 취하는 식 (2)의 결과를 신호대잡음비로 표현하거나 동적 오차에 의한 레이더의 추적 오차를 예측한 결과를 도시한 것이다.

Fig. 9. 시뮬레이터 입력화면

ASCII 자료로 생성된 값을 이용하여 이와 같이 결과를 보여줄 수 있으나, 이러한 영향들이 실제 비행시험에 미치는 영향을 직관적으로 예측하기는 어려우며

로 시뮬레이션의 결과를 3차원 가시화 모듈과 연동되도록 구현하였다.

Fig. 10. 시뮬레이터 출력화면

다. 3차원 가시화

3차원 가시화 시스템은 디지털 지도 기반의 3차원 영상위에 시뮬레이션 결과를 직관적으로 도시하기 위하여 구현된 시스템으로서 네트워크를 통하여 시뮬레이션 결과자료나 예상 궤적을 수신하여 다양한 화면 형태로 자료를 보여주도록 구현되었다.

Fig. 11은 2차원 지도 위에 전체 궤적도시, 계산된 레이더 시스템 상태값, 그리고 가시선 상태를 나타낸 것이다. 가시선 상태는 예상 비행 시나리오에 의해 계산된 추적 장비에서의 정상적 추적여부를 확인하는 기능으로서 저고도로 표적이 비행하는 경우 도서 지역이나 건물 뒤편으로 비행구간이 발생하여 정상적인 추적이 어려운 구간을 확인할 수 있는 기능이다. 시뮬레이터의 3차원 디지털 지도에서 표적과 레이더간의 일직선으로 직선이 존재한다고 가정하였을 때, 전 비행구간에서 정상적으로 추적가능한 지를 확인하는 기능이다.

Fig. 12는 시스템 상태 위주로 시뮬레이션 결과를 도시한 화면으로 총 4개의 화면으로 구성되어 있다. 좌단의 화면에서 반투명 형태 표시는 안테나 빔 3차원 패턴을 의미하며, 예상 비행 궤적과 자세 변화에 따른 표적의 이동이 도시되도록 하였다. 우측 상단은 사이트 또는 추적 장비에서 바라본 표적의 상태, 우측 중간은 레이더의 추적 상태를, 그리고 우측 하단의 미사일은 표적의 자세정보인 pitch, yaw, roll 정보를 시각적으로 나타내기 위한 것이다.

Fig. 11. 3차원 가시화 화면 I

Fig. 12. 3차원 가시화 화면 II

부가적으로 주요 비행현상을 계측하는 광학추적장비나 레이더에 장착된 광학계로부터 실제 획득되는 영상을 예측 할 수 있는 기능이 있으며, 이를 위하여 현재 보유 하고 있는 광학계의 렌즈 크기, 직경, 카메라 CCD 크기 등의 정보를 데이터베이스로 구성하여 실제 얻어질 수 있는 영상의 크기와 품질을 추정할 수 있다^[10]. 이 결과는 최종적으로 비행 시험시에 요구되는 최적의 영상 결과물을 얻기 위하여 광학계의 렌즈 선택 및 카메라를 선택하는데 활용될 수 있다. 또한 영상 자료의 획득이 중요할 경우, 영상의 가시도(visibility)에 따라서 영상 획득여부를 판가름 할 수 있도록 가시도 임계조건을 설정하여 해무에 의하여 가시거리 확보가 어려운 경우에 영상획득이 가능한 최

소 탐지거리등을 추정할 수 있으며, 이러한 기능을 통하여 실제 가시 거리가 확보되지 않는다고 판단할 경우, 시험 진행여부를 판단할 수 있다. 그리고 시뮬레이터에서 추적 알고리즘으로 생성된 추적 자료의 상태 변수값을 이용하여 위험구역의 비행체적 상태값을 표시할 수 있다.

시뮬레이션 가시화 결과는 재생기능과 함께 자동 리포트 기능을 사용하여 시간대 레이더 추적상태에 대한 분석결과를 제시한다. 이를 이용하여 안정적으로 추적이 가능한 시간 별 시스템의 상태 여부를 판별하며, 계측상황이 제일 우월한 최적화 장비를 선정하는 근거로 제시하도록 하였다.

가시화 모듈은 향후 확장성을 고려하여 다 비행시험관련 M&S 도구와의 상호연계성을 확보하기 위하여 HLA(High Level Architecture)를 고려하였다.

5. 시뮬레이션 결과

개발된 계측 레이더 추적 시뮬레이터의 신뢰도 평가를 위하여 통합된 시스템의 V&V(Verification & Validation) 과정이 요구되는데, Validation은 실제 비행 시험과 동일한 조건에서 시뮬레이션이 수행되었을 때 정상적으로 구현되는지를 확인하며, Verification은 시뮬레이션 프로그램이 정상적으로 오류 없이 동작하는 지 또는 임의의 시나리오에 대하여 일반적으로 예측하는 값과 동일한 값을 얻을 수 있는가를 확인하는 단계로서 M&S를 직접 적용하기 위하여 반드시 거쳐야만 하는 과정이다.

몬테칼로(Monte-Carlo) 시뮬레이션을 통하여 시스템의 신뢰도를 확인할 수 있지만, 실제 비행시험에서의 레이더 추적 결과 자료와 비교과정을 수행하는 turing test를 적용하여 개발된 시스템의 성능을 점검하는 방안이 효과적인 방안이라 판단된다. 개발된 시뮬레이터의 신뢰도를 확인하기 위하여 실제 계측 자료를 이용한 turing test를 실시하였다.

가. Case I

Case I은 회전 및 직선 비행체적을 갖고 있는 비행 시험의 경우로서 부분적으로 저고도 비행구간을 포함하고 있다. 시뮬레이션과 실제 비행시험을 비행하기 위하여 시간대 신호대잡음비를 비교하였다. Fig. 13은 실제 계측값과 시뮬레이션 결과를 비교한 것으로서

검은색 실선은 계측값이며, 빨간색 점선은 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

단순히 레이더에서 표적까지 거리에 따른 신호대잡음비는 선형으로 거리에 비례하는 패턴을 갖지만, 표적의 자세나 저고도 비행 궤적등을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였을 때에는 비정상적인 구간에서 신호대잡음비가 급격히 변화됨을 알 수 있었다. 비정상적 구간에서의 신호대잡음비의 급격한 변화와 추적오차의 증가는 비행시험 계획시 위험구간으로 판단하여 미리 대비토록 할 수 있다.

Fig. 13. Case I의 시뮬레이션 결과 분석

나. Case II

Case II 사례는 시험은 초기 비행구간에서 표적의 자세가 변화하며 기동하는 경우로서 신호대잡음비의 변화가 균일하게 발생하는 사례로서 이에 대한 정보를 입력하여 시뮬레이션과 계측자료를 Fig. 14에서 비교하였다. 검정색 실선은 레이더 계측 자료이며, 빨간색 점선은 시뮬레이션 자료를 의미한다. 본 결과에서 초기 자세 변화 또는 기동이 발생할 때에도 신호대잡음비의 변화를 시뮬레이션을 통해 정상적으로 추정할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 14. Case II의 시뮬레이션 결과 분석

두 시험사례를 검토하였을 때, 시뮬레이션의 결과와 실제 비행시험의 계측 레이더 추적 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

6. 결 론

계측레이더 추적 시뮬레이터는 비행시험을 실제 수행하기 전에 표적, 레이더, 환경 모델링을 통하여 획득된 모델링 자료 및 다중경로 및 서보 특성을 분석하는 알고리즘을 이용하여 계측 레이더의 추적 상태를 미리 예측할 수 있다. 개발된 시뮬레이터는 비행시험 수행단계 중 임무계획 단계에서 탄도계측 레이더, 텔레메트리 그리고 광학추적 장비에 대한 최적의 배치 위치와 자료의 품질에 따른 우선순위를 결정할 수 있으며, 비행시험 구간에서 계측 위험도를 미리 인지하여 성공적인 비행시험 수행에 사용된다.

시험평가 단계에서 적용되는 M&S 도구들은 한정된 자원으로 수행될 수 밖에 없는 실시험(live test)의 계측 요구를 만족하고 정상적인 시험절차를 수행할 수 있을 뿐 아니라 LVC(Live, Virtual and Constructive) 시험의 토대를 만듦으로써 M&S를 이용한 시험평가의 기반을 구축하였다. 향후 레이더 수신 모사신호를 이용한 신호분석과 같은 레이더 시뮬레이터 기능의 추가나 시험장 환경에 맞는 공학적 모델의 지속적인 개발로 시험평가를 위한 M&S 에 한걸음 더 나아갈 수 있으며, 새로운 알고리즘의 도입과 개발을 통하여 다양한 환경에서의 시험 상태 추적 및 효과 분석을 수행할 수 있다.

References

- [1] 예성혁, 류충호, 황규환, 서일환, 김형섭, “계측레이더의 비행체 추적모사 연구”, DSTC-414-070472, 2007.
- [2] 류충호, 예성혁, 황규환, 서일환, “표적의 자세 변화를 고려한 계측 레이더의 비콘 성능 분석”, 한국군사과학기술학회지 Vol. 13, No. 4, Aug. 2010.
- [3] 윤재문, “무장발사장치 체계성능분석을 위한 시뮬레이터 개념 모델링 사례”, 한국군사과학기술학회지 Vol. 12, No. 4, Aug. 2009.
- [4] E. M. Koper, “Aircraft Antenna Coupling Minization using Genetic Algorithm and Approximation”, IEEE Trans. AEC., Vol. 40, pp. 742~751, 2004.
- [5] M. V. T. Heckler, “Analysis of Monopole Installed on Airframes”, IEEE AP-S, Vol. 2A, pp. 280~283, 2005.
- [6] EM Software & Systems - S. A., FEKO User's Manual 2008.
- [7] Mahafza, Radar Systems Analysis and Design Using Matlab, Chapman & Hall/CRC 2005.
- [8] David K. Barton, Radar System Analysis and Modeling, Artech House 2005.
- [9] V. G. Borkar, A. Renuka and A. Ghosh et al, “Simulation Method Identifies Multipath Tracking Errors”, MW&RF pp.55~62, Feb. 2001.
- [10] Brian J. Riley, “Optics Instrumentation Mission Planning Using Modeling and Simulation”, ITEA Journal Volume 23, Number 2, pp. 39~50, 2002.