

전투기 레이더 개발을 위한 Software-in-Loop Simulation 시스템 구현

Software-in-Loop Simulation System Implementation for Fighter Radar Developments

김태형 · 전형원 · 이성원 · 박준태 · 강명일 · 박준현

Tae-Hyung Kim · Hyeong-Won Jeon · Sung-Won Lee · Joon-Tae Park · Myoung-Il Kang · June-Hyune Park

요 약

전투기 레이더 시스템을 위한 SILS(software-in-loop simulation) 시스템을 구현하였다. 수학적 모델링으로 전투기 레이더 환경 및 하드웨어를 모의하고 디지털 데이터로 레이더 모의신호를 생성하며, 구현한 SILS 시스템을 이용한 모의시험의 시험결과를 저장/분석할 수 있다. 구현한 SILS 시스템은 PC(personal computer) 기반의 가상 레이더 처리장치를 포함하고 있어, 가상 레이더 처리장치를 연동하여 레이더 제어/처리 알고리즘 및 소프트웨어 개발에 이용할 수 있으며, 실제 레이더 처리장치도 연동할 수 있어 실제 장비의 소프트웨어 및 코드의 기능/성능을 확인할 수도 있다. 또한 안테나 및 송수신기 모델을 포함하기에 초기 하드웨어 설계의 시스템 레벨에서의 성능을 모의시험 환경에서 확인할 수 있어 하드웨어 설계 및 개발 속도를 높일 수 있다. 다년간의 전투기 레이더 개발로 확보한 레이더 환경 및 하드웨어의 수학적 모델을 사용하여 구현한 SILS 시스템의 타당성과 유용성을 SILS 기반 시험결과들을 통해 보여준다.

Abstract

Herein, we implement a software-in-loop simulation (SILS) system for fighter radar systems. The implemented SILS system simulates fighter radar environments and hardware by mathematical modeling, generates radar-simulated digital signals, and stores/analyzes simulation results. It includes a personal computer (PC)-based virtual radar processing unit, which can be used to develop radar control and process algorithms and codes and can also examine the functions and performance of the software and code of actual radar processing equipment by connecting actual equipment. Because antenna and transceiver models are included, the performance of the initial hardware designs at the system level can be examined in the simulation environment, thereby increasing the hardware design and development speed. We demonstrate the validity and usefulness of the SILS system, implemented using the radar environment and hardware mathematical models obtained from the development of fighter radars for numerous years, through SILS-based test results.

Key words: Software-in-Loop Simulation, SILS System, Fighter Radar, Airborne Radar, SILS-Based Software Development

I. 서 론

전투기 레이더는 전투기를 탑재되어 운영되기에 개발 과정에서 수많은 비행시험을 거치게 된다. 비행시험은 비

LIG넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received August 27, 2022 ; Revised September 6, 2022 ; Accepted September 24, 2022 (ID No. 20220827-066)

· Corresponding Author: Tae-Hyung Kim (e-mail: thkim07@gmail.com)

용과 시험환경 조성 등의 문제가 있으므로, 개발과정에서 대부분의 기능/성능은 지상시험을 통해 확인하고 최종적인 기능/성능 완성은 제한적인 비행시험을 통해 이루어진다. 개발 비용 및 시간 절약과 효율을 위해서 시뮬레이션을 통한 전투기 레이더 개발은 필수적인 단계다. 전투기 레이더를 개발하면 SILS(software-in-loop simulation) 시스템 활용은 선진국에서 필수적으로 수행되며, 전투기 레이더 개발 후에도 SILS 시스템은 레이더 장치의 유지 보수, 점검 및 기능/성능 향상 개발 등에 활용될 수 있다.

본 논문은 국내의 전투기 레이더 개발에 활용하기 위해서 구현한 SILS 시스템에 대해 기술한다. 전투기 레이더 개발과정에서의 실제 경험과 결과물들을 바탕으로 전투기 레이더 또는 항공기 레이더 개발에 대한 요구가 들어왔을 때, 속도감이 있고 신뢰성이 있는 레이더 개발을 위해 SILS 시스템을 구현하였다. 또한 기존의 개발 결과에 추가적인 모드를 개발하고, 레이더 기능/성능을 향상시킬 수 있는 개발 환경을 제공하는 것을 목적으로 구현하였다. 기존 개발하였던 외부환경 모델 및 하드웨어 모델들을 기본 사용하였고^{[1]~[12]}, 새로운 알고리즘 개발과 기능 검증이 가능할 뿐만 아니라, 실제 장비에 코딩된 소프트웨어(SW)의 기능 검증이 가능하도록 구성하였다. 안테나 및 송수신기 하드웨어 모델을 SILS 시스템에 내포하기 때문에 안테나 및 송수신기 등의 초기 하드웨어 설계를 시스템 레벨에서 기능 및 성능을 확인할 수 있다. 그러므로 안테나 및 송수신기의 하드웨어의 설계에도 구현한 SILS 시스템을 활용할 수도 있다. 전투기 기동모델을 포함하고, 표적과 플랫폼의 비행 시나리오 편집 기능을 보유하고 있어서 전투기 레이더의 기능/성능 시험에서 비행 시나리오 기반의 시험이 가능하다. MFD(multi-function display)와 항공전자장치들을 모사하는 모의기를 포함하고 있어서, 비행시험 시나리오를 SILS 환경에서 모의 수행하고 시험 중에 진행상황 및 결과를 확인할 수 있다. 그리고 시험결과 데이터를 저장하고 분석할 수 있다(분석 SW를 포함한다). 구현한 SILS 시스템에 포함된 분석 SW는 실제 비행시험 데이터 저장 결과도 분석할 수 있도록 구현되었다. 구현한 SILS 시스템은 전투기 레이더 개발 이후 기 개발한 레이더 장치의 유지 보수를 위한 점검 및 시스템 점검을 위한 장치 개발에도 활용될 수 있다.

II. 전투기 레이더 개발용 SILS 시스템

이 절에서는 본 논문에서 구현한 SILS 시스템의 구성과 세부 기능 설계에 대하여 기술한다.

그림 1은 구현한 SILS 시스템의 개념적인 블록도이다. SILS 시스템을 크게 4개의 장치로 구성하였고, 장치 간에 연결은 기가비트 이더넷을 기본으로 하였다. 4개의 장치는 레이더환경신호 모의장치(RESG), 가상 레이더 처리장치 또는 실제 레이더 처리장치(virtual RPU or real RPU), 외부연동모의기(external interface & equipment simulator), 시험데이터 분석장치(test data analysis equipment)이며, 장치들은 PC(personal computer) 및 HPC(high performance PC) 기반으로 제작하였다. 4개의 장치들 중 하나를 가상 레이더 처리장치 또는 실제 레이더 처리장치로 표현한 것은 실제 레이더 처리장치에 들어있는 레이더 신호/데이터 및 통제 처리 SW 코드를 가상 레이더 처리장치에서 실행하여 SILS 시스템으로 시험을 하거나 가상 레이더 처리장치가 아닌 실제 레이더 처리장치를 포함한 SILS 시스템을 구성할 수 있음을 표현한 것이다. 가상 레이더 처리장치에는 실제 레이더 신호/데이터 및 통제 처리 SW 코드로 SW 기능/성능을 시험해 볼 수 있고 알고리즘 개발을 위해 주로 사용하는 matlab 언어 등으로 이루어진 코드를 실행해 알고리즘 개발에 활용할 수도 있다.

실제 레이더 처리장치와 실제 외부장비(MC, EGI, MFD, 안테나 및 송수신기 등)와는 1553B, ARNIC-818 및

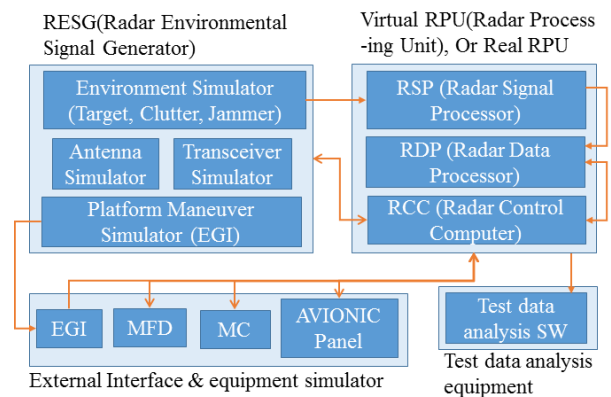


그림 1. SILS 시스템 모듈 연결 블록도

Fig. 1. Block diagram of modules of SILS system.

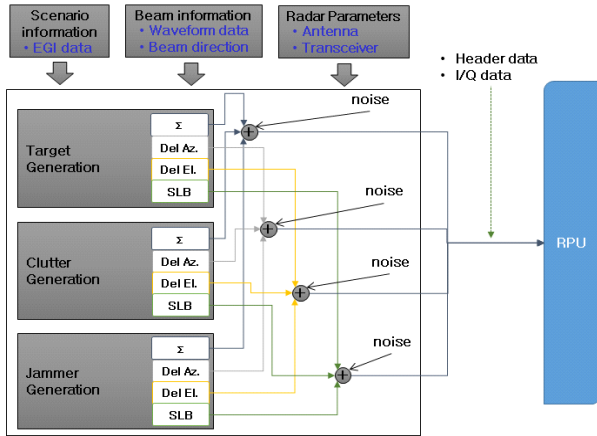


그림 4. RESG의 디지털 로우 데이터 모의 블록도
Fig. 4. Block diagram for generation of simulated digital raw data of RESG.

한다. 식 (1)은 RESG에서 사용한 표적신호생성 모델을 나타낸다.

$$y(t) = A \exp(-j2\pi f\tau) \exp(j2\pi f_d t) p(t-\tau) \quad (1)$$

여기서,

$$A = \sqrt{K_s \lambda^2 \sigma G_t G_r / (L r^4)} \quad , \quad \tau = 2r/C \quad (2)$$

$y(t)$ 는 수신기 출력 신호, f 는 송신주파수, $p(t-\tau)$ 는 τ 시간 지연된 송신신호, f_d 는 표적의 도플러, K_s 는 시스템 상수, λ 는 송신파장, σ 는 표적의 RCS(radar cross section), G_t 는 안테나 조향을 고려한 위상성분을 포함한 송신 안테나 이득, G_r 는 안테나 조향을 고려한 위상성분을 포함한 수신 안테나 이득, L 은 이득 손실, r 는 표적거리 및 C 는 광속도이다. 식 (1)은 기저대역에서 수신기의 디지털 로우 데이터 출력력을 모의한 것을 나타낸다. 표적 RCS는 swerling 표적 모델(swerling 0, 1, 3, 등)을 고려하였다. 잡음 신호는 수신기 잡음크기의 정규분포 잡음을 생성하였다. 지면 클러스터 및 기상 클러스터는 식 (1)의 신호 생성 모델에서 표적 RCS 부분(σ)을 지면클러스터 패치 면적 및 공간클러스터 부피를 고려한 클러스터 RCS로 바꾸어 표현한 클러스터 생성 모델을 사용하여 모의 생성하였다. 잡음 재머는 잡음 신호 모델에 잡음 재머 방향과 안테나 지향에 따른 G_r 를 적용하여 생성하였다. 기만재머는 식 (3)의 거리기만(RGPO) 재머와 식 (4)의 속도기만(VGPO)

재머와 같은 기만재머 생성 모델을 사용하였다.

$$y(t) = A \exp(-j2\pi f\tau) \exp(j2\pi f_d t) p(t-\tau(t)) \quad (3)$$

$$y(t) = A \exp(-j2\pi f\tau) \exp(j2\pi f_d(t)t) p(t-\tau) \quad (4)$$

식 (3)에서 $\tau(t)$ 는 시간에 따른 거리기만 함수이며, 식 (4)에서 $f_d(t)$ 는 시간에 따른 속도기만 함수이다^[10].

그림 5는 RESG 장치 제어 SW GUI 화면을 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 플랫폼 및 표적의 기동시나리오와 클러스터 및 잡음재머, 기만재머 등의 외부환경을 설정할 수 있고, 시나리오 실행을 제어할 수 있다. GUI 제어로 RESG가 레이더 처리장치의 안테나 및 송수신기 제어 신호를 받아서 레이더 반사신호 및 EGI 모의 데이터를 레이더 처리장치 및 외부연동모의기에 제공한다. 그러면 레이더 처리장치는 레이더 반사신호 모의 데이터를 처리하여 표적 탐지/추적 및 지상영상형성, 해상모드 처리결과를 외부연동모의기(MC)에 보고하여 MFD 장치 등에 처리결과를 전시한다. 구현한 SILS 시스템은 이러한 전투기 레이더의 실제 궤환적(feedback) 동작을 그대로 모의할 수 있어서 전투기 레이더의 능동적인(dynamical) 표적 탐지/추적 동작의 기능/성능을 확인할 수 있다. 또한 실측 데이터 및 다년간의 검증에 기반한 신뢰성 있는 연구 결과들을^{[1]~[3],[8]~[10],[12]} 반영하여 실제 환경을 최대한 모사하였기에 구현한 SILS 시스템으로 예정한 시나리오의 비행 시험 결과를 신뢰성 있게 예측할 수 있고, 전투기 레이더 SW 개발의 속도와 신뢰성을 향상시킨다. 그림 6은 RESG 장치 제어 SW GUI를 사용하여 생성한 플랫폼과 표적의 기동 시나리오의 예들을 보여준다. 그림 6에서 아래쪽 삼각

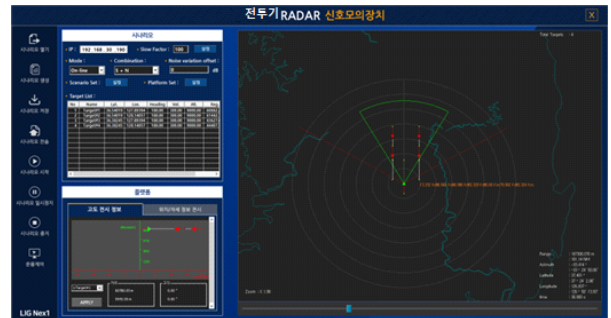


그림 5. RESG 장치 제어 SW GUI 화면
Fig. 5. The GUI display of the RESG control SW.

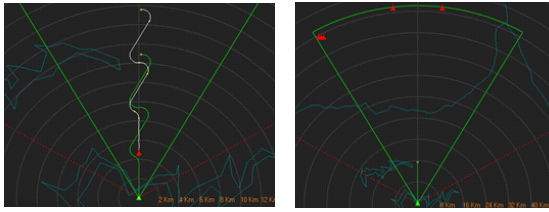


그림 6. 공대공(좌)과 공대지(우)의 시나리오 모의 예
Fig. 6. Examples of scenario simulations of air-to-air (left) and air-to-ground (right).

형은 플랫폼은 나타내고, 위쪽 삼각형들은 표적을 나타내며, 삼각형들에 연결된 굴곡진 경로 선은 비행경로를 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 공대공 표적과 전투기의 기동과 공대지 표적의 기동 등을 비행시험 시나리오처럼 모의할 수 있다.

시험데이터 분석장치는 SILS 시스템으로 시험하면서 저장한 시험 데이터 및 로깅 데이터를 분석할 수 있는 장치이다. 또한 전투기 레이더의 비행시험을 하였을 때 실제 획득할 수 있는 로깅 데이터들을 분석할 수 있는 장치이다. 실제 비행시험 데이터 저장 결과를 분석할 수 있도록 저장 데이터의 구조와 형식을 실제 장비의 레이더 SW와 SILS 장비의 레이더 SW에서 동일하게 하여 구현한 시험데이터 분석장치의 활용성을 높였다. 물론 SILS 시스템 운영을 통해 비행시험 시나리오로 모의시험을 할 수 있기 때문에 동일한 형식의 데이터를 얻을 수 있고, 그 데이터로 비행시험에서의 전투기 레이더의 기능/성능을 분석을 통해 미리 예측할 수 있다. 그림 7은 시험데이터 분석장치 내의 시험데이터 분석 SW GUI 화면을 나타낸다. 분석 SW는 크게 신호처리, 데이터처리 및 통제제어의 3가

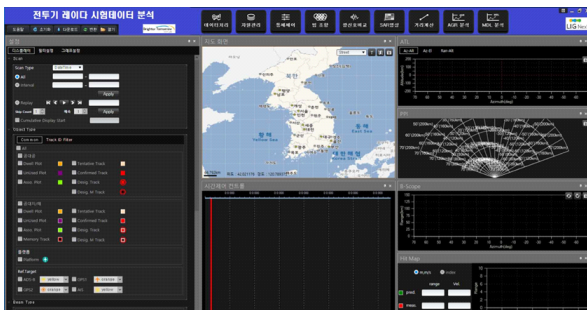
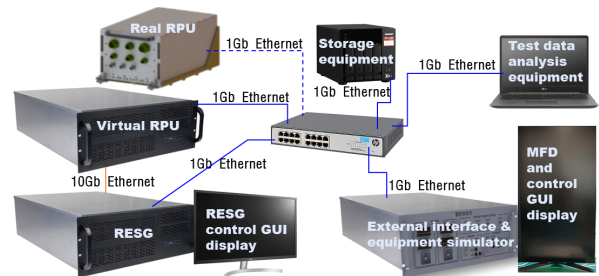


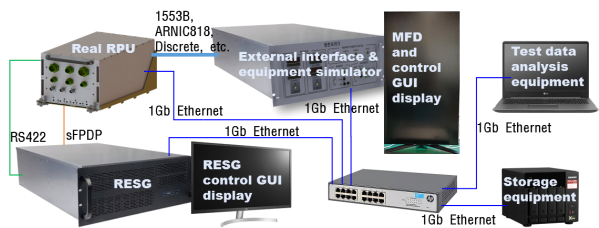
그림 7. 시험데이터 분석 SW GUI 화면
Fig. 7. The GUI display of the test data analysis SW.

지 분야의 로깅 시험데이터를 분석할 수 있다. 각 분야별로 세부 분석이 가능하여 레이더 처리장치 및 SW 개발의 속도와 신뢰성을 향상시킨다.

그림 8은 구현한 SILS 시스템의 하드웨어 장비 구성 및 연결을 보여준다. 그림 8(a)는 레이더 시스템의 실제 하드웨어 장치 간의 하위레벨의(하드웨어적인) 연결을 모두 이더넷으로 대체하고, 상위레벨의(소프트웨어적인) 송수신 연동 프로토콜은 실제 장치 간의 연동과 동일하게 구현한 SILS 시스템을 나타낸다. 그림 8(a)에서 레이더 시스템의 구성 품을 모의장치(가상 레이더 처리장치, 외부 연동모의기, 레이더환경신호 모의장치 등)들로 구성된 것을 볼 수 있다. 그리고 시험데이터 저장장치와 분석장치를 볼 수 있다. 그림 8(a)에서 가상 레이더 처리장치 위에 실제 레이더 처리장치를 하나 더 구성한 것은 가상 레이더 처리장치 대신에 실제 레이더 처리장치를 이더넷으로 연결 구성하여 시험할 수도 있음을 나타낸 것이다. 그림



(a) 이더넷 기반으로 장비를 연결하여 구성
(a) The configuration which equipments are connected based on the ethernet



(b) 실제 장비의 인터페이스를 기반으로 장비를 연결 구성
(b) The configuration which equipments are connected based on interfaces of real external equipments

그림 8. SILS 시스템의 하드웨어 장비 구성 및 연결
Fig. 8. Configuration and connection of hardware equipments in the SILS system.

8과 같이 계층적으로 상위레벨과 하위레벨의 장치 간의 연결을 설계하여 SILS 시스템을 구성하면 여러 전투기 플랫폼에 범용적으로 사용할 수 있는 SILS 시스템을 구성할 수 있다(전투기 플랫폼이 바뀌면 SILS 시스템의 하드웨어는 유지할 수 있고, 내부 소프트웨어는 다소 변경되어야 할 것이다). 그리고 하위레벨의 장치 간 연결에 대한 구현을 없애고 상위레벨에서 레이더 시스템의 기능/성능에 대한 설계/개발에 집중할 수 있다. 구현한 SILS 시스템에서는 레이더 처리장치와 외부장치와의 이더넷 기반 연결을 위해서 레이더 처리장치 내에서 외부인터페이스 및 제어 신호 생성을 담당하는 하드웨어 보드를 SW 모듈로 모의하여 이더넷 연결로 대체되도록 하였다. 그림 8(b)는 외부연동모의기와 레이더환경신호 모의장치에 1553B, ARNIC-818 및 광 인터페이스 등으로 연결 가능하도록 인터페이스 카드를 장착하고, 외부연동모의기와 레이더환경신호 모의장치가 하위레벨의 장치 간의 연결까지도 모의하도록 하여 실제 레이더 처리장치의 하위레벨의 장치 간의 연결까지도 기능/성능 시험이 가능하도록 구성한 SILS 시스템이다. 이렇게 하면 실제 외부장치(MC, MFD, EGI 등)와 실제 안테나 및 송수신기를 연결하지 않고, SILS 장비만으로 하드웨어적 인터페이스를 포함한 실제 레이더 처리장치의 기능/성능을 확인할 수 있다.

III. SILS 시스템을 이용한 개발 및 모의시험

구현한 SILS 시스템은 개발시험, 점검시험 및 평가시험의 3가지 분류의 시험을 수행할 수 있다. 개발시험은 알고리즘 개발과 SW 구현 및 SW 모듈별 단위 시험을 목적으로 하는 것으로 SILS 시스템이 효율적인 개발 환경을 제공한다. 점검시험은 레이더 처리장치 등의 장비를 점검하는 것으로 SILS 시스템이 로깅정보들을 분석하여 장비들의 BIT(built-in test) 정보를 확인할 수 있도록 한 것이다. 평가시험은 레이더 처리장치를 중심으로 개발된 레이더 시스템의 기능과 성능을 평가하는 시험으로 SILS 시스템은 평가 시험을 위한 실제적인 레이더 환경 모의 및 다양한 전투기 기동 모의가 가능한 시험 시나리오를 생성할 수 있어야 한다. 그리고 3가지 분류의 시험들을 분석할 수 있는 시험결과 분석장치는 반드시 필요하다. 이번 절

에서는 구현한 SILS 시스템으로 수행한 개발시험과 평가시험의 예를 보이고 구현한 SILS 시스템의 타당성과 유용성을 확인한다.

그림 9는 플랫폼과 표적의 기동 환경에서 레이더 처리장치 내부에서 사용하는 EGI 정보의 시간 지연이 추적 성능에 미치는 영향을 확인하고, 관련한 알고리즘 추가 필요성을 확인하는 개발시험을 위한 시험 시나리오를 나타낸다. 시험 시나리오를 상세히 확인할 수 있게 시험데이터 분석장치의 분석 SW를 이용하여 나타내었다. 그림 10은 시험 중 MFD 화면 및 시험결과 분석화면을 나타낸다. 이 개발시험에서 확인한 것은 2가지이다. 첫 번째는 실제 빔 조향 때의 플랫폼의 EGI 정보와 레이더 처리장치 내의 표적 추적 필터에서 사용한 플랫폼의 EGI 정보와의 시간 지연이 20 ms 이상이 나면 플랫폼 기동 조건에서 표적 추적 필터의 예측 오차가 커져서 추적을 유지 못한다는 것이다. 두 번째는 레이더 처리장치 내에서 빔 조향 정보 형성 때에 사용한 플랫폼의 EGI 정보와 실제 빔 조향 때의 플랫폼의 EGI 정보와의 시간 지연이 100 ms 이하이면 표적을 놓치지 않을 정도로 제대로 표적을 향

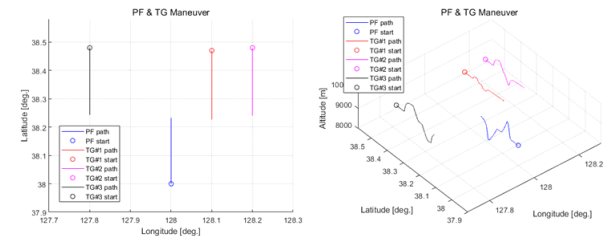


그림 9. 시험 시나리오 1
Fig. 9. The test scenario 1.

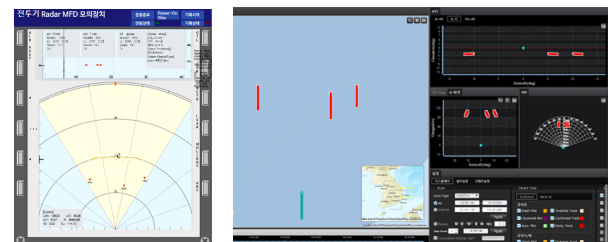


그림 10. 시험 시나리오 1의 모의시험에 의한 MFD(좌) 및 시험결과 분석(우) 화면
Fig. 10. Displays of MFD (left) and test analysis (right) for simulation test of the test scenario 1.

해 빔 조향이 되었다. 이런 분석 결과로부터 데이터처리 및 신호처리에 사용되는 플랫폼 기동정보의 시간 지연이 어느 정보 범위까지 최대한 허용될 수 있는지를 확인할 수 있다. 그래서 플랫폼 기동정보가 허용되는 지연 시간 범위 안에서 사용될 수 있도록 레이다 시스템을 구현해야 함을 확인할 수 있다. 그리고 허용되는 지연 시간 범위 안에서 플랫폼 기동정보를 사용하도록 구현하기 어렵다면 시간 지연에 대응하기 위한 처리 알고리즘이 필요함을 확인할 수 있다. 만약 이런 시간 지연에 대응하는 알고리즘을 설계/구현하였다면 그 효용성을 구현한 SILS 시스템으로 확인할 수 있을 것이다.

그림 11은 공대지 비행시험을 통해 획득한 RBGM과 GMTI(ground moving target indication) 모드의 비행시험 로깅 로우 데이터를 구현한 SILS 시스템을 이용해서 레이다 처리장치의 디지털 로우 데이터로 입력해 시험한 개발시험의 결과 예를 보여준다. 레이다 처리장치 내의 신호처리 및 데이터처리의 알고리즘 및 파라메타 수정의 효과를 실제 비행시험 로깅 데이터를 입력하여 그 결과의 MFD 화면으로 확인한 것을 나타낸 것이다. 이렇게 실증 데이터로 기능/성능의 개선 및 개발 효과를 용이하고 효과적으로 확인할 수 있다.

그림 12는 RBGM 및 DBS 모드 기능/성능을 검증하는 검증시험을 위한 시험 시나리오를 나타낸다. 시험 시나리오를 상세히 확인할 수 있게 시험데이터 분석장치의 분석 SW를 이용하여 나타내었다. 그림 13은 RBGM 및 DBS

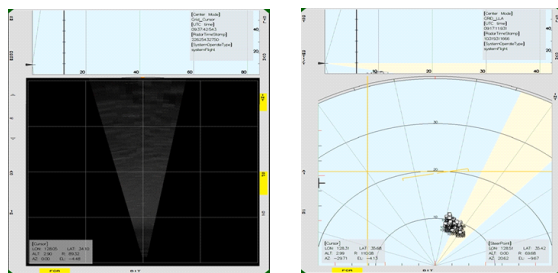


그림 11. 비행시험 로깅 데이터를 사용한 공대지 RBGM (좌)과 GMTI(우) 모드의 개발시험 중 MFD 전시화면

Fig. 11. Display of MFD while testing for developing air-to-ground RBGM (left) and GMTI (right) modes using the flight-test logging data.

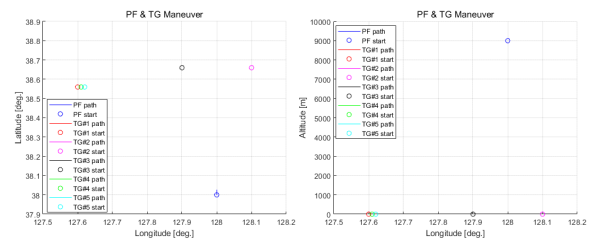


그림 12. 시험 시나리오 2
Fig. 12. The test scenario 2.

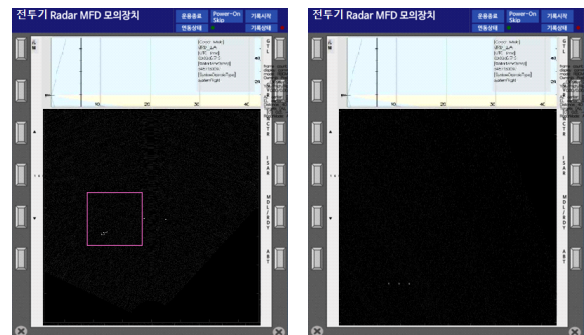


그림 13. RBGM(좌)과 DBS(우) 모드 기능/성능 검증시험 중 MFD 화면
Fig. 13. MFD while testing function and performance of RBGM (left) and DBS (right) modes.

모드 기능/성능 검증시험 중 MFD 전시화면 및 시험결과 분석 내용을 나타낸다. 그림 13의 좌측 그림에서 보듯이 형성된 RBGM 영상이 그림 12의 지면 위의 표적 위치를 잘 표현하여 모드의 기능이 잘 동작함을 확인할 수 있다. 그림 13의 좌측 RBGM 영상 내에 작은 사각형으로 표현된 영역을 DBS 영상형성 기능으로 형성한 영상이 그림 13의 우측 DBS 영상이다. 그림 13의 우측 DBS 영상에서 방위해상도가 크게 향상된 것을 확인할 수 있고(DBS 영상이 RBGM 영상보다 방위방향 해상도가 높게, RBGM의 일부 영역이 DBS 영상으로 제대로 표현되어 형성됨을 확인할 수 있음), DBS 모드 기능/성능 검증을 시험데이터 분석장치의 분석 SW를 이용하여 상세히 확인할 수 있다.

IV. 결 론

전투기 레이다 시스템의 설계 및 레이다 처리/제어 알고리즘과 SW 개발에 유용하게 사용할 수 있고, 전투기

레이더의 기능과 성능을 시험 및 확인, 분석할 수 있는 SILS 시스템을 구현하였다. 그리고 구현한 SILS 시스템을 이용한 시험들의 예들을 통해 구현한 SILS 시스템의 타당성과 유용성을 보였다. 구현한 SILS 시스템은 새로운 기능과 향상된 알고리즘을 개발하는 레이더 성능 향상을 위한 개발도구로서, 레이더 시스템 차원에서 기능/성능을 확인하는 데에 활용될 수 있다. 그리고 전투기 레이더 시스템의 점검 장비로도 변경 활용 가능하다.

구현한 SILS 시스템의 연구 내용은 새로운 플랫폼에서의 항공기 레이더 개발에 재사용될 수 있고, 새로운 플랫폼 항공기 레이더 개발의 속도와 개발 안정성, 신뢰성을 높여 새로운 플랫폼 항공기 레이더 개발의 시도에 대한 위험성과 부담을 완화시킬 수 있을 것이다.

References

- [1] T. H. Kim, E. H. Kim, and S. J. Kim, "Time-domain model of surface clutter for airborne phase-array radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 7, pp. 730-736, Jul. 2013.
- [2] T. H. Kim, H. W. Moon, S. W. Lee, S. H. Ryu, and E. J. Yang, "Development of real-time generation methods of simulated surface clutter signals for airborne radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 2, pp. 176-187, Feb. 2016.
- [3] T. H. Kim, H. W. Jeon, S. H. Park, J. T. Park, C. H. Jung, and J. H. Park, et al., "Development of ground clutter reflectivity calculation methods and simulated ground clutter signal generation models using airborne radars," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 6, pp. 541-548, Jun. 2021.
- [4] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York, NY, McGraw-Hill, 2005.
- [5] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2008.
- [6] H. Lee, I. S. Koh, J. S. Yoon, and T. H. Kim, "Criterion to choose efficient far-field approximation of dyadic Green's function for impedance plane like ocean surface," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 2, pp. 147-154, Feb. 2017.
- [7] E. Kim, T. Kim, and S. Kim, "A study on the methods to simulate the target reflective signal in a wideband radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 2, pp. 179-188, Feb. 2015.
- [8] T. H. Kim, C. H. Jung, H. S. Lee, J. H. An, S. H. Kim, and J. H. Park, "Elevation angle measurement of sea-skimming targets for fine tracking in multipath environments of sea surfaces," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 396-406, Apr. 2021.
- [9] T. H. Kim, D. Y. Choi, "Sidelobe cancellation using difference channels for monopulse processing," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 5, pp. 514-520, May 2015.
- [10] S. Jang, S. Kim, "Radar countermeasure and effect analysis for the pull-off deceptive jamming signal," *Journal of the Korean Military Science and Technology Society*, vol. 23, no. 3, pp. 221-228, Jun. 2020.
- [11] T. H. Kim, H. W. Jeon, J. H. Shin, and Y. D. Kang, "Improvement of detection ranges for targets in sidelobe clutter surroundings by sigma-delta STAP for airborne radars," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 4, pp. 234-238, Oct. 2019.
- [12] T. H. Kim, Y. J. Byun, and J. W. Yi, "The estimation of the surface sidelobe clutter distribution for the HPRF waveform of the M/W seeker," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 1-7, Feb. 2009.

김 태 형 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5296-2389>



1999년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 석사)
2007년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 박사)
2010년 11월: 국방과학연구소 연구원
2010년 12월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 패턴인식 등

박 준 태 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7895-1792>



2011년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학 석사)
2011년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 능동 위상 배열 레이더 등

전 형 원 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3618-3000>



2006년 3월: 한밭대학교 정보통신공학과 (공학사)
2008년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2008년 9월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템 M&S 등

강 명 일 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6057-9104>



2004년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2006년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)
2006년 2월~2007년 10월: LG전자 (주) 주임연구원
2007년 10월~현재: LIG넥스원 (주) 수석연구원
[주 관심분야] 레이더시스템, 전원 및 레이더송수신

이 성 원 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9425-6581>



2009년 2월: 아주대학교 정보컴퓨터공학과 (공학사)
2014년 2월: 아주대학교 정보컴퓨터공학과 (공학박사)
2014년 1월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원
[주 관심분야] 레이더 통제/제어, 레이더 자원관리, 소프트웨어 아키텍처

박 준 현 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2750-6688>



1996년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학 석사)
1996년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더, 항공기 레이더, 레이더 신호처리 등