

Implementation of AESA Radar Integration Analysis System by using Heterogeneous Media

Min-Jung Kang*

*Engineer, Radar R&D Center, Hanwha Systems, Yongin, Korea

[Abstract]

In this paper, implement and propose an Active Electronically Scanned Array (AESA) radar integration analysis system which specialized for radar development by using heterogeneous media. Most analysis systems are used to analyze and improve the cause of defects, so they help the test easier. However, previous log analysis systems that operate only based on text are not intuitive and difficult to find the information user want at once if there is a lot of log information. so when an equipment defect occurs, there are limitations in analyzing the cause of defect. Therefore, the analysis system in this paper utilizes heterogeneous media. The media defined in this paper refers to recording text-based data, displaying data as image or video and visualizing data. The proposed analysis system classifies and stores data that transmitted and received between radar devices, radar target detection and Tracking algorithm data, etc. also displays and visualizes radar operation results and equipment defect information in real time. With this analysis system, it can quickly provide information what user want and assistance in developing high quality radar.

▶ **Key words:** Integration Analysis System, Data Transmit, AESA Radar, Target Detection&Tracking

[요 약]

본 논문은 다양한 매체를 활용하여 레이다 개발에 특화된 능동 전자 주사식 위상 배열(AESA, Active Electronically Scanned Array) 레이다 통합 분석 시스템을 구현하고 제안한다. 대부분 분석 시스템은 결함의 원인을 분석하고 개선하기 위해 활용되어 시험을 수월하게 한다. 그러나 기존에 텍스트 기반의 로그 분석 시스템은 로그 정보가 많으면 직관적이지 않고 원하는 정보를 한 번에 찾기 어려워 장비 결함 발생 시 결함의 원인을 분석하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문의 분석 시스템은 다양한 매체를 활용한다. 본 논문에서 정의하는 매체란 텍스트 기반의 데이터를 기록하고, 데이터를 이미지 및 영상으로 전시하며 데이터를 시각화하는 것을 말한다. 제안하는 분석 시스템은 레이다 장치 간에 송수신된 데이터, 레이다 표적 탐지 추적 알고리즘 데이터 등을 분류하여 저장하고 레이다 작동 결과 및 장비 결함 정보를 실시간 전시하고 시각화한다. 이 분석 시스템을 통해 사용자에게 원하는 정보를 빠르게 제공하고 완성도 높은 레이다 개발에 도움을 준다.

▶ **주제어:** 통합 분석 시스템, 데이터 전송, AESA 레이다, 표적 탐지&추적

-
- First Author: Min-Jung Kang, Corresponding Author: Min-Jung Kang
 - *Min-Jung Kang (kkmj0121@hanwha.com), Radar R&D Center, Hanwha Systems
 - Received: 2024. 01. 26, Revised: 2024. 03. 05, Accepted: 2024. 03. 06.

I. Introduction

능동 전자 주사식 위상 배열 (Active Electronically Scanned Array, AESA) 레이더는 전자적으로 위상이 변화된 전파를 사용하여 표적의 거리를 측정하는 장치이다 [1]. AESA 레이더는 전원 공급 장치, 안테나 장치, 송수신 처리 장치로 구성된다. 송수신 처리 장치는 통제제어기, 신호처리기, 송수신 장치로 구성되어 있으며 Fig. 1과 같다. 레이더를 구성하는 각 장치는 장치 간에 유기적으로 송수신되는 데이터에 의해 작동한다. 전원 공급 장치는 안테나 장치 및 송수신 처리 장치에 전원을 인가해 장비가 구동할 수 있게 하는 역할을 하고, 전원이 공급되면 각 장치는 통제제어기의 명령에 따라 수행한다. 통제제어기는 장치 간에 송수신된 정보를 활용해 우선순위에 따라 자원을 실시간 운용체계에 맞게 스케줄링하여 각 장치에 제어 명령을 전달한다[2-4]. 송수신 장치는 통제제어기가 요청한 정보에 맞춰 전파를 생성하고 전파를 안테나 장치로 송수신하는 역할을 한다[5]. 안테나 장치는 송수신 장치가 생성한 전파를 전자적으로 위상을 변화시켜 통제제어기가 요청한 위치에 빔을 방사하고, 표적을 맞고 돌아온 전파 신호를 수신한다. 이 신호는 송수신 장치를 거쳐 신호처리기로 전달된다. 신호처리기는 표적을 맞고 반사되어 돌아온 전파의 세기, 크기 그리고 모양을 판독하여 표적의 방향, 거리, 속도 등의 정보를 산출한다[6-7]. 통제제어기는 신호처리기가 분석한 표적 정보와 필터 정보를 활용해 표적의 이동 정보를 예측하고 표적을 탐지 추적한다[8-9].

이처럼 각 장치는 합의된 연동 규약에 따라 수많은 데이터를 송수신한다. 그러나 송수신 간에 규약이 어긋나는 데이터가 발생하게 되면 고장의 원인이 되고, 연동 규약에 따라 데이터를 처리하지 못해 장비 고장 현상이 발생한다.

이러할 경우 장치 간에 송수신한 데이터를 저장하고 분

석하는 장비가 없으면 고장 원인을 파악하기 불가능하다는 어려움이 있다. 따라서 레이더가 작동하는 동안 각 장치가 합의된 연동 규약에 맞는 데이터를 송수신하여 동작하는지 확인하고 분석하는 시스템이 필요하다[10-11].

기존에 제공되는 텍스트 기반의 로깅 분석 시스템은 로깅 정보가 많으면 원하는 정보를 한 번에 찾기 어렵고 직관적이지 않아 개발 장비 결함 발생 시에 로깅 정보만으로 그 원인을 분석하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 매체를 활용한 분석 기능을 제공하는 AESA 레이더 통합 분석 시스템을 구현하고 제안한다. 제안하는 시스템은 각 장치 간에 송수신 데이터, 알고리즘 데이터를 분류하여 저장하고, 레이더 기능 및 성능에 영향을 미치는 정보들을 식별하여 실시간 시각적으로 전시한다. 또한, 시간에 따른 데이터 변화량 추이 확인이 가능하며, 복잡한 과거 기록 정보는 그래프를 활용해 시각화하여 제공한다.

본 논문에서 제안하는 AESA 레이더 통합 분석 시스템은 DAS (Data Acquisition System), MCS (Monitoring Check System) 그리고 TTVS (Target Trajectory Visualization System) 가 있으며 그림1과 같다. DAS는 텍스트 기반으로 데이터를 기록하고, MCS는 이미지 또는 영상으로 실시간 데이터를 전시하며 TTVS는 그래프를 활용해 복잡한 데이터를 시각화한다. 이러한 기능을 제공함으로써 개발자가 결함의 원인을 분석하고 개선하기 위해 활용되어 시험을 수월하게 하고 완성도 높은 장비 개발에 도움을 준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 분석 시스템과 관련된 연구를 서술하고, 3장에서는 제안하는 레이더 통합 분석 시스템의 특성을 작성한다. 그리고 4장에서는 제안하는 시스템의 소프트웨어 설계 및 구현 결과를 소개하고, 5장에서 결론을 맺는다.

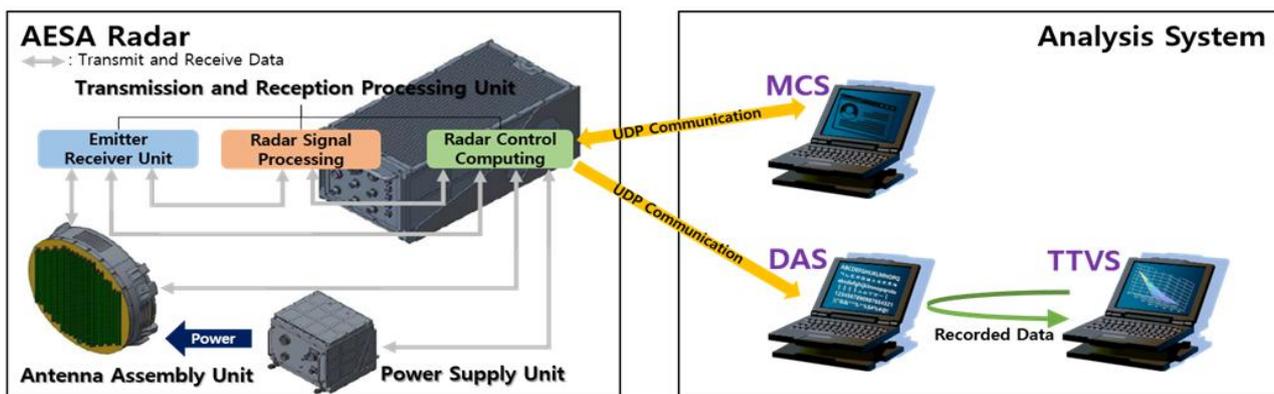


Fig. 1. AESA Radar Configuration and Proposed Integration Analysis System Configuration

II. Related Work

시스템의 복잡성과 규모가 큰 다양한 장비가 개발됨에 따라 장치 간에 송수신하는 다량의 데이터 검증, 결함 발견 및 시험에 사용하기 위한 분석 시스템이 필요하다. 이에 따라 장치 또는 프로그램을 안정적으로 개발하기 위해 사용하는 분석 시스템에 대해 많이 연구되고 있다.

이와 관련해 텍스트 기반의 로그 데이터를 분석하여 이상 징후를 탐지하는 방법에 대해 많이 소개되고 있다 [12-13]. 텍스트 기반의 비연속적 로그를 분석하여 로그에 포함된 키워드의 중요도에 따라 가중치를 설정하고, 통계적 결과가 높은 키워드가 포함된 로그를 강조해서 제공하는 결함 분석 시스템 연구가 진행된 바 있다[14]. 이는 결함에 대한 원인이 되는 로그를 빠르게 제공함으로써 디버깅의 방향성을 알려주는 장점이 있으나, 결함 발생 시점에 해당하는 다양한 정보를 활용하여 결함의 원인을 분석하고 시나리오를 재현하기는 어렵다. 또한, 텍스트 기반 분석 시스템으로써 시각화가 가능한 이미지, 영상 등의 다양한 매체를 활용한 결함 분석 결과를 제공해 주지 않는다. 방대한 양의 데이터를 텍스트 기반의 로그 분석만으로 소프트웨어 시스템 이상 현상을 분석하기에는 어려움이 있다고 언급한 바 있다[15]. 이에 따라 딥러닝 기반으로 로그 데이터를 분석하여 이상 징후를 자동으로 탐지하는 분석 시스템 연구가 진행된 바 있다[16-17]. 연구된 딥러닝 기반 로그 분석 시스템은 전처리 작업으로 구문 분석을 수행하는데, 부정확한 구문 분석으로 인한 오류가 생성될 수 있다. 이런 경우에 의도와 다르게 학습되어 결함 탐지 정확도가 감소한다.

이에 따라 본 논문에서 제안하는 능동 전자 주사식 위상 배열 레이더 통합 분석 시스템은 텍스트 기반의 과거 기록

데이터, 이미지 및 영상 정보 등의 다양한 매체를 활용해 레이더 장치 분석 기능을 제공한다. 또한, 레이더 개발에 중요시되는 정보를 가공하여 기능 및 장비 상태 등을 실시간 전시하여 제공한다. 이 시스템을 통해 개발자가 결함의 근본적인 원인을 찾기 위한 도움을 제공하고 원본적인 오류를 수정하도록 한다.

III. The Proposed Scheme

본 논문에서는 다양한 매체를 활용해 여러 분석 기능을 제공하는 AESA 레이더 통합 분석 시스템을 구현하고 제안한다. 제안하는 시스템은 DAS (Data Acquisition System), MCS (Monitoring Check System) 그리고 TTVS (Target Trajectory Visualization System) 로 구성된다.

3.1 Characteristics of DAS and Recording Information

DAS는 데이터 획득 시스템으로 레이더 알고리즘 정보, 장치 간 송수신된 정보 등을 분류하여 저장한다. 사용자는 저장 시작 시점과 종료 시점을 자유롭게 제어할 수 있어 단시간 또는 장시간에 걸쳐 원하는 구간의 기록 정보를 확인할 수 있다. 또한, 저장된 데이터는 분류 작업을 거쳐 확장자 CSV 파일에 기능별로 개별 관리됨으로써 사용자는 원하는 정보를 선택적으로 빠르게 확인 가능하며, 엑셀 파일에서 지원하는 연산 및 그래프 기능 활용이 가능해 사용 편의성을 제공하고 데이터 분석에 용이하도록 한다. DAS는 장치 간의 연동 규약에 어긋나는 데이터 유무를 확인하

Table 1. Transmitted Data between Radar Devices and Recorded Information of DAS

Source Device	Destination Device	Transmitted Data & Record Information
Radar Control Computing	Emitter Receiver Unit	- Waveform Generation Information - Device Check Request Message
	Antenna Assembly Unit	- Beam Steering Information - Device Check Request Message
	Power Supply Unit	- Device Check Request Message
	Radar Signal Processing	- Target Prediction&Estimation Information - Device Check Request Message
	Radar Control Computing	- Target Detection&Tracking Algorithm Data - Control Command Information
Radar Signal Processing	Radar Control Computing	- Detected Target Information
Emitter Receiver Unit	Radar Control Computing	- Device Check Results
Antenna Assembly Unit		
Power Supply Unit		

여 장비의 이상 유발 현상을 방지하기 위해 사용되고, 이상 현상이 발생하였을 때 동일 시점에 다양한 정보를 유기적으로 활용하고 분석하여 결함에 대한 근본적인 원인을 찾아 보완 및 개선에 도움이 된다.

레이다가 빔을 방사하고 표적 정보를 산출하여 표적을 추적하기 위해서는 제어 정보, 표적 산출 정보, 추적 알고리즘 정보 그리고 각 장치 상태 정보 등이 중요하다. 이에 따라 분석을 위해 DAS에 기록하는 주요 정보는 Table 1과 같다. 통제제어기가 송수신 장치로 전송하는 데이터는 빔 파형 생성 정보가 있고, 안테나 장치로 전송하는 데이터는 빔 조향 위치 정보가 있다. 이는 제어 명령에 따라 특정 파형을 요청된 위치에 빔을 방사하여 최적의 조건으로 원하는 표적을 탐지하기 위한 정보이다. 통제제어기가 신호처리기로 전송하는 데이터는 탐지하고 싶은 표적의 예측 정보가 있다. 이는 특정 영역에 있는 표적의 정보만을 정확하고 빠르게 산출하기 위한 용도로 사용된다. 통제제어기 수행 업무 결과로 기록하는 데이터는 스케줄링에 따라 각 장치에 전달한 제어 정보가 있다. 이는 제어 시간 정보 등을 확인해 알맞은 시간에 원하는 제어가 요청되어 운용개념에 맞게 레이다가 동작했는지 확인하는 용도로 사용된다. 또한, 통제제어기는 표적의 측정값, 예측값, 추정값 등을 저장함으로써 안정적인 표적 추적을 위해 표적 탐지 추적 알고리즘에 사용한다. 신호처리기가 통제제어기로 전송하는 데이터는 통제제어기가 요청한 영역에서 탐지된 표적 산출 정보가 있다. 이는 통제제어기에서 표적 이동 정보를 예측하여 표적을 탐지 추적하기 위해 사용된다. 마지막으로 통제제어기가 각 장치로 전송하는 공통 데이터로는 장비 상태 점검 요청 정보가 있으며, 이에 대한 응답으로 각 장치는 통제제어기로 장비 상태 점검 결과 정보를 전송한다. 이는 레이다의 지속적인 임무 수행 가능 여부를 파악하기 위한 용도로 사용된다.

3.2. Characteristics of MCS and Display Information

MCS는 모니터링 점검 시스템으로 빔 방사 영역, 추적 중인 표적 정보, 각 장치 점검 결과 등을 실시간 전시한다. 원하지 않은 영역에 빔을 방사하거나 장비의 결함 또는 표

적 정보가 잘못 예측되면 정상적인 표적 추적이 불가능하다. 이에 따라 MCS는 사용자에게 빔 방사 위치, 장치 상태, 표적 산출 정보 등을 실시간 시각적으로 정보를 제공하여 결함 발생 시 대략적인 원인을 파악하기 위한 도움을 준다. 또한, 실시간성 정보 제공이라는 장점을 활용해 표적 미탐지, 표적 소실 현상 등을 포착하여 재현 시나리오를 파악하고 레이다 탐지 추적 알고리즘 개선 여부의 필요성을 판단한다. MCS를 통해 이상 현상 발생 시 레이다 운용을 중단하고 해당 시점의 DAS에 기록된 데이터를 분석해 장비 및 알고리즘을 개선하여 재운용함으로써 레이다 개발 기능 향상에 도움을 준다.

레이다는 안정적인 장비 상태에서 높은 정확도로 표적을 탐지하고 소실 없이 표적을 추적하여 운용하는 것이 중요하다. 이에 따라 실시간 레이다 운용 상태를 파악하기 위해 MCS에 전시하는 주요 정보는 Table 2와 같다. MCS에 전시할 모니터링 점검 정보는 통제제어기를 통해 수신한다. 통제제어기가 MCS로 전송하는 데이터는 탐색 영역 정보와 빔 조향 정보가 있다. 이는 레이다 운용자가 요청한 특정 구역을 시각적으로 전시하여 현재 탐색 중인 영역을 알려주고, 빔이 방사된 위치를 전시하여 운용 설계에 맞춰 빔이 방사되었는지 확인하기 위해 사용된다. 또한, 통제제어기가 MCS로 전송하는 데이터로는 레이다가 탐지 추적한 표적 산출 정보가 있다. 표적 산출 정보로는 탐지된 표적의 거리, 속도, 고도, 위치 등이 있다. 이 정보를 활용해 MCS는 탐지 추적 중인 표적 정보를 다양한 관점으로 전시하여 실시간 표적 이동 정보를 시각적으로 제공하며 표적 산출 정보를 활용해 표적 신호 크기 추이 및 고각, 방위각, 거리, 속도 편차의 추이를 그래프로 전시한다. 이는 시간별 추이값을 실시간 확인함으로써 레이다 운용 중 표적 탐지 정확도에 대한 정보를 획득한다. MCS가 전시하는 편차 정보 $Track_D$ 란 추적 필터를 사용해 추정된 표적 정보 $Track_E$ 와 레이다가 측정한 표적 정보 $Track_M$ 의 차이 값을 말하며 수식 (1)과 같다. 표적 추정값 $Track_E$ 는 칼만 필터를 활용하여 표적 예측값 $Track_P$, 표적 측정값 $Track_{pM}$, 칼만 이득 K , 시스템 모델 H 를 기반으로 수식 (2)와 같이 계산된다. 편차 정보는 추적 알고리즘 및

Table 2. Received Data and Displayed Information of MCS

Source Device	Destination System	Received Data & Displayed Information
Radar Control Computing	MCS	<ul style="list-style-type: none"> - Search Area Information - Beam Steering Information - Target Detection&Tracking Information (Range, Velocity, Altitude, Azimuth, Elevation etc.) - Device Check Result Information (Checked Devices : PSU, AAU, ERU, RSP, RCC)

$$Track_D = Track_E - Track_M \quad (1)$$

$$Track_E = Track_P + K * (Track_{pM} - H * Track_P) \quad (2)$$

표적 측정이 정상적으로 동작하고 있는지 확인하고 레이더가 적은 오차로 표적의 위치를 예측해 추적하는지 확인하기 위해 활용되어 레이더 성능 및 오작동 방지를 대비하기 위해 사용된다. 마지막으로 통제제어기가 MCS로 전송하는 데이터로 각 장치 점검 결과 정보가 있다. 이는 레이더가 장비 고장으로 인한 비정상 작동 발생 시 어느 장치의 어떤 부분의 문제가 발생하였는지 상세 정보를 실시간 시각적으로 전시하기 위해 사용된다. 이는 실시간 레이더 성능 분석 및 안정적인 레이더 운용에 용이하도록 한다.

3.3. Characteristics of TTVS and Visualization Information

TTVS는 표적 궤도 시각화 시스템으로 레이더가 추적한 표적의 이동 경로를 그래프로 시각화한다. 본 논문에서 제안하는 DAS는 시간에 따른 표적 이동 정보를 텍스트 기반으로 저장한다. 하지만 다량의 데이터를 텍스트 기반 및 2차원 공간의 정보만으로 3차원 공간에서 이동한 표적 궤도를 직관적으로 파악하기는 어렵다. 이를 보완하기 위해 TTVS는 DAS가 기록한 수많은 텍스트 기반의 복잡한 데이터를 3차원 공간에 시각화해 정보를 제공한다는 장점이 있다. 이를 통해 표적 궤도를 시각적으로 확인하여 소실 없이 예상된 시나리오에 따라 표적을 예측하여 추적하였는지 검증하기 위해 도움이 된다.

레이더 개발 시 표적을 정상적으로 추적하였는지 시험하고 확인하는 작업이 중요하다. 이에 따라 TTVS는 DAS에 저장된 정보를 가져와 시험 결과를 시각화하여 제공하기 위해 사용하는 데이터는 Table 3과 같다. DAS는 레이더 운용 중에 기록한 데이터 저장 파일명 정보를 TTVS에 공유하고 TTVS에서 선택된 파일의 데이터를 제공한다. 이는 TTVS가 DAS에 저장된 텍스트 기반의 정보를 시각화하기 위해 사용된다. TTVS는 DAS가 제공한 정보를 활용해 시간에 따른 표적의 이동 정보와 관련된 데이터를 추출하여 표적 궤도를 시각화하고 표적 시나리오 정보 등을 전시한다. 이는 표적 시나리오 및 표적 추적 결과를 3차원

공간에 전시 함으로써 직관적으로 표적의 움직임을 보여 주고 시나리오 대비 표적 추적이 정상적으로 수행되었는지 확인하는데 용이하도록 한다.

IV. Design and Implementation

본 논문에서 개발한 시스템은 Windows 운영체제 환경에서 운용된다. MFC(Microsoft Foundation Class) 라이브러리를 이용하여 GUI를 구성하고, 제공되는 클래스를 사용하여 기능을 구현하였다.

4.1. Software Design of DAS and Implementation Result

DAS는 레이더 장치 간에 송수신한 이진 데이터를 신호 데이터로 변환하고 분류하여 CSV 파일로 저장해 데이터 분석에 용이하도록 지원하는 분석 시스템이다. DAS 소프트웨어 구성도는 Fig. 2와 같으며, 데이터 리시버(Data Receiver), 데이터 익스트랙터(Data Extractor), DAT 파일 매니저(DAT File Manager), 패킷 애널라이저(Packet Analyzer) 그리고 CSV 파일 매니저(CSV File Manager)로 구성된다. 데이터 리시버는 통제제어기로부터 수신한 모든 데이터를 큐에 저장한다. 데이터 익스트랙터는 큐에 저장된 데이터가 유효 데이터인지 식별하고 식별된 데이터는 DAT 파일 매니저가 이진 데이터로 관리한다. 패킷 애널라이저는 DAT 파일 매니저가 관리하는 이진 데이터를 열람하여 데이터 종류를 식별하고 신호 데이터로 변환한다. 변환된 신호 데이터는 CSV 파일 매니저가 기능별로 데이터를 분류하여 각 CSV 파일에 저장한다. 최종적으로 사용자는 분류되어 저장된 정보 중 원하는 데이터를 선택하여 신호 데이터로 열람 가능하다.

Table 3. Received Data and Visualization Information of TTVS

Source System	Destination System	Received Data and Visualization Information
DAS	TTVS	- List of Data File Names Recorded by DAS - Target Detection & Tracking Information
TTVS	TTVS	- Tracked Target Trajectory Information - Tracked Target Scenario Information

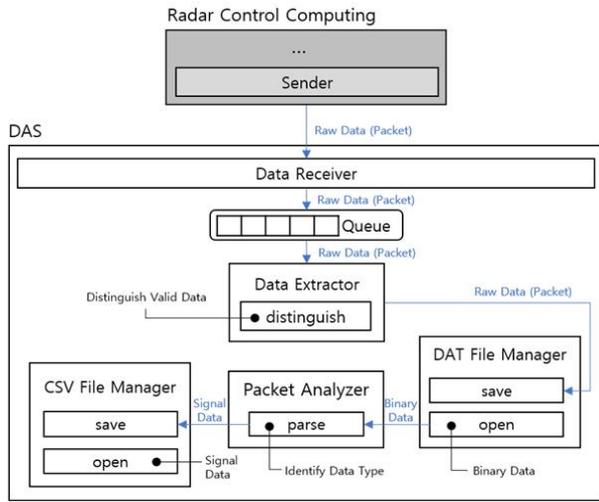


Fig. 2. Software Architecture of DAS

DAS 구현 결과는 Fig. 3과 같다. DAS는 Fig. 4와 같이 원하는 경로를 설정하여 설정된 위치에 데이터를 저장할 수 있으며, 저장된 이진 데이터를 신호 데이터로 변환해 CSV 파일로 제공한 것을 Fig. 5와 같이 확인하였다.

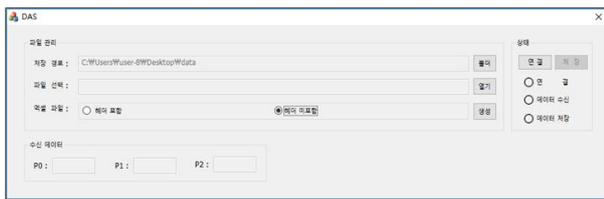


Fig. 3. Implementation Result of DAS

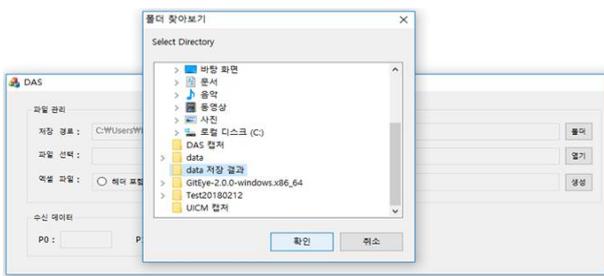


Fig. 4. Set Record Path

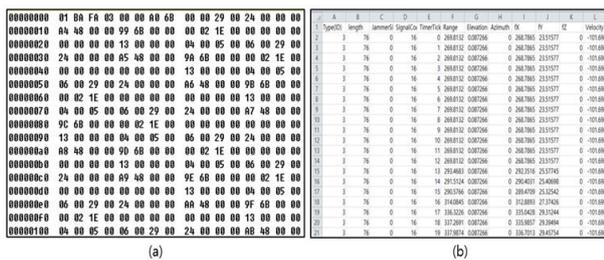


Fig. 5. Convert (a)Binary Data to (b)Signal Data

4.2. Software Design of MCS and Implementation Result

MCS는 통제제어기로부터 수신한 이진 데이터를 이미지 또는 영상 데이터로 변환하여 레이더 정상 동작 여부, 장비 상태 등을 시각적으로 전시하여 실시간 표적 탐지 추적 상태 및 장비 결함 확인에 용이하도록 지원하는 분석 시스템이다. MCS 소프트웨어 구성도는 Fig. 6과 같으며, 네트워크 매니저 (Network Manager), 패킷 애널리저(Packet Analyzer), 레이더 인포 매니저(Radar Info Manager), 드로잉 매니저 (Drawing Manager) 그리고 커맨더(Commander)로 구성된다. 네트워크 매니저는 통제제어기로부터 수신한 레이더 운용 결과 데이터를 큐에 저장한다. 패킷 애널리저는 큐에 저장된 이진 데이터를 연동 규약에 따라 신호 데이터로 변환하고 데이터를 분류한다. 분류된 데이터는 레이더 인포 매니저가 현재 레이더 상태 정보와 탐지 추적한 표적 정보를 관리하며, 실시간 업데이트된 정보를 전시한다. 레이더 상태 정보는 탐색 영역, 빔 그리드, 장비 점검 결과 등이 있고, 표적 정보로는 표적 식별 번호, 거리, 속도, 방위각, 고각, 편차 추이 정보 등이 있다. 드로잉 매니저는 레이더 인포 매니저로부터 정보를 가져와 장비 점검 상태, 탐색 영역 및 빔 그리드 생성 위치, 탐지 추적한 표적 정보를 시각적으로 관리한다. 장비 점검 결과 전시 화면에는 송수신 장치, 통제제어기, 신호처리, 안테나 장치, 전원공급장치의 각 장치의 점검 결과를 전시하고, 탐색 영역 및 빔 그리드 생성 결과 전시 화면에는 현재 레이더가 표적을 탐색하는 영역과 빔을 방사한 위치 정보를 전시한다. 탐지 추적 중인 표적 결과 전시로는 PPI(Plan Position Indicator), 고도/거리, 고각/방위각 축에 표적의 위치를 전시하는 화면이 있고, 여러 가지 정보를 전시하는 MFD(Multi Function Display) 화면, 표적 추적 결과 정보를 전시하는 화면이 있다. 마지막으로 커맨더는 드로잉 매니저로 확인하고 싶은 전시 화면을 요청하고, 통제

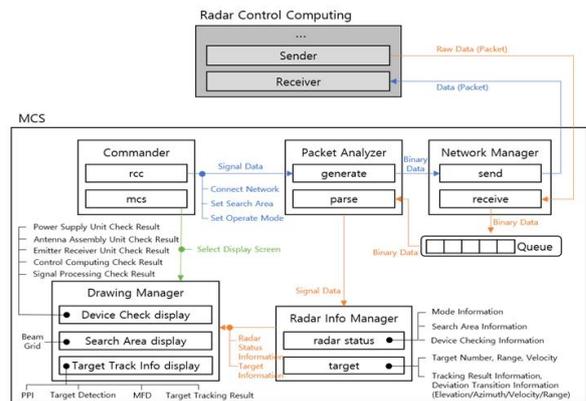


Fig. 6. Software Architecture of MCS

제어기로부터 데이터를 받기 위한 네트워크 연결 및 통제제어기로 탐색 영역 설정 등의 제어 명령을 전달한다.

MCS는 Fig. 5에 순차적으로 기록된 결과를 실시간 시각적 정보로 제공하며, 본 논문에 작성된 Fig. 7에서 Fig. 12는 MCS의 구현 결과로 실시간 전시된 기록 중 특정 시점의 한 화면이다. MCS 구현 결과로 PPI 화면, 빔 그리드 화면, 장비 점검 화면, 표적 탐지 화면, 표적 추적 결과 화면, MFD 화면이 있다. Fig. 7은 PPI 화면으로 현재 레이더가 탐지하는 탐색 영역 정보와 추적 중인 표적의 식별자와 위치 정보를 한반도 지도에 시각적으로 전시됨을 확인하였다.

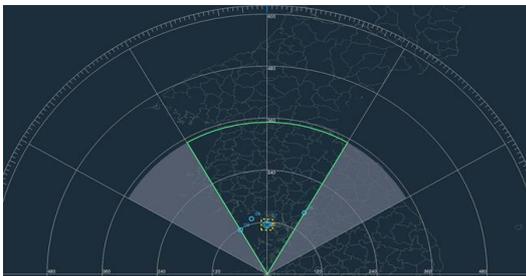


Fig. 7. PPI Screen

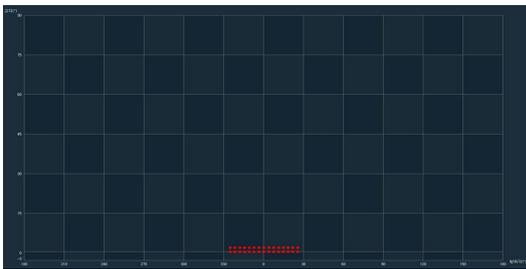


Fig. 8. Beam Grid Screen

Fig. 8은 빔 그리드 화면으로 방위각/고각 축으로 구성된 2차원 공간에 레이더가 방사한 빔 위치 정보를 시각적으로 전시함을 확인하였다. Fig. 9는 장비 점검 화면으로 안테나 장치, 전원공급 장치, 송수신 장치, 신호처리기 그리고 통제제어기의 결함 여부를 전시한다. 결함 여부를 판단하는 기준은 연동 규약에 맞춰 구현하였으며, 고장 현상 시나리오에 따라 작동되어 시각적으로 전시됨을 확인하였다.

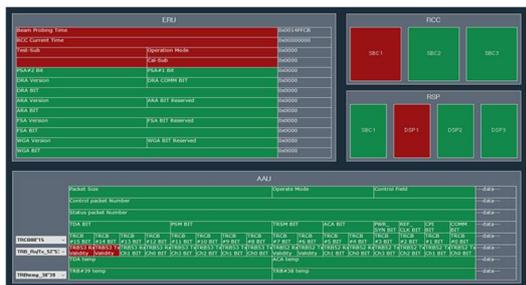


Fig. 9. Device Check Result Screen

Fig. 10은 레이더가 탐지한 표적 정보를 활용하여 고도/거리 축과 고각/방위각 축으로 구성된 2차원 공간에 탐지된 표적들의 위치가 전시됨을 확인하였다.



Fig. 10. Target Detection Screen

Fig. 11은 표적 추적 결과 화면으로 레이더가 측정된 표적의 수신 신호 크기, 추정값 대비 측정값의 오차 정보 확인을 위한 고각, 방위각, 거리, 속도 편차 정보 추이를 그래프로 전시한다. 이는 현재 레이더가 적은 오차로 표적을 추적하는 중인지 확인하고 레이더 성능 및 오작동 방지를 위해 전시되어 활용 가능성을 확인하였다.

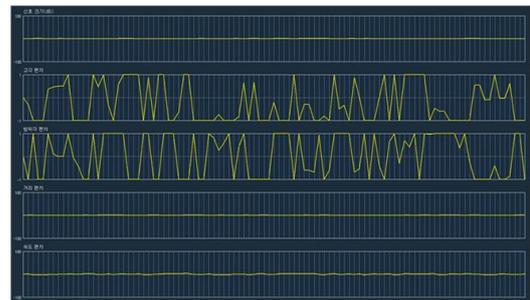


Fig. 11. Target Tracking Result Screen

Fig. 12는 MFD 화면으로 AESA 레이더가 장착되는 항공기에 탑재를 목적으로 구상한 기존의 디스플레이 GUI를 대략 모의한 결과이다. MFD 화면에 탐색 영역, 운용 정보, 추적 중인 여러 표적 정보 등을 하나의 화면에 시각적으로 전시됨을 확인하였다.

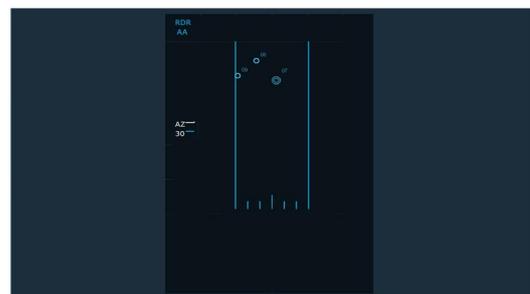


Fig. 12. MFD Screen

4.3. Software Design of TTVS and Implementation Result

TTVS는 DAS에 기록된 복잡한 신호 데이터를 이미지 데이터로 시각화하는 시스템으로 일정 시간 동안 표적이 이동한 궤도를 3차원 공간에 전시한다. 이는 시나리오에 따른 표적 추적 검증에 용이하도록 지원하는 분석 시스템이다. TTVS 소프트웨어 구성도는 Fig. 13과 같으며 파일 로더, 타겟 시뮬레이터 그리고 뷰어 매니저로 구성된다.

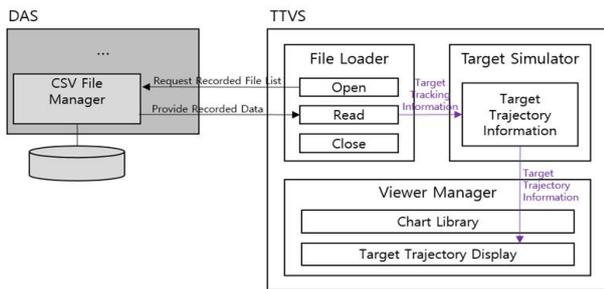


Fig. 13. Software Architecture of TTVS

파일 로더는 DAS가 기록한 데이터의 파일명 정보를 확인하여 선택하고 시간에 따른 표적 이동 데이터를 추출한다. 타겟 시뮬레이터는 그래프로 시각화할 표적 이동 데이터를 가공하여 뷰어 매니저로 전달한다. 뷰어 매니저는 차트 라이브러리를 활용해 표적 궤도 데이터를 시각화한다.

TTVS 구현 결과는 Fig. 14와 같다. 다양한 기동 모델에 따라 추적한 표적의 이동 데이터를 이용해 구현 결과를 확인하였다. 데이터 시각화 도구로는 MFC와 C++ 기반의 ChartDirector 라이브러리를 사용하여 구현하였다[18].

V. Conclusions

본 논문에서는 다양한 매체를 활용하여 레이더 개발 과정 중 장비 상태 및 시험 분석에 사용하기 위한 AESA 레이더 통합 분석 시스템을 구현하고 제안하였다. 제안하는 통합 분석 시스템은 DAS, MCS 그리고 TTVS로 구성되어 있다. DAS는 텍스트 기반 분석 시스템으로 레이더 장치 간에 연동 규약에 따라 송수신한 데이터의 과거 기록 정보를 저장하고, MCS는 이미지 및 영상 데이터로 실시간 작동하고 있는 레이더 기능 수행 결과 및 장비 점검 결과를 2차원 공간에 시각적으로 실시간 전시한다. TTVS는 그래프를 활용해 일정 시간 동안 레이더가 탐지 추적한 표적의 궤도를 3차원 공간에 시각화한다. 본 논문에서는 구현하고 제안한 레이더 통합 분석 시스템 개요 및 구성을 서술하였고, 통합 시스템을 구성하는 각 시스템의 특성 및 활용 정보들을 작성하였다. 그와 더불어 소프트웨어 설계 및 구현 결과를 작성하였다. 제안하는 통합 분석 시스템은 다양한 매체를 활용하여 다방면의 관점에서 레이더 작동 결과 및 장비 점검 결과를 제공하여 분석에 용이하도록 한다. 이로 인해 레이더 개발 과정에서 고장 현상 발생 시 고장의 원인을 분석하고 시험을 수월하게 진행하기 위한 도움을 준다. 또한 표적 탐지 추적 성능 개선 및 장비 상태를 보완하기 위한 도움을 주어 개발 완성도를 높이고 개발 과정에 편의성을 증대시킨다. 이후, 분석을 위해 필요한 기능을 추가로 개발하여 사용함으로써 편의성 및 효율성을 증대시키도록 한다.

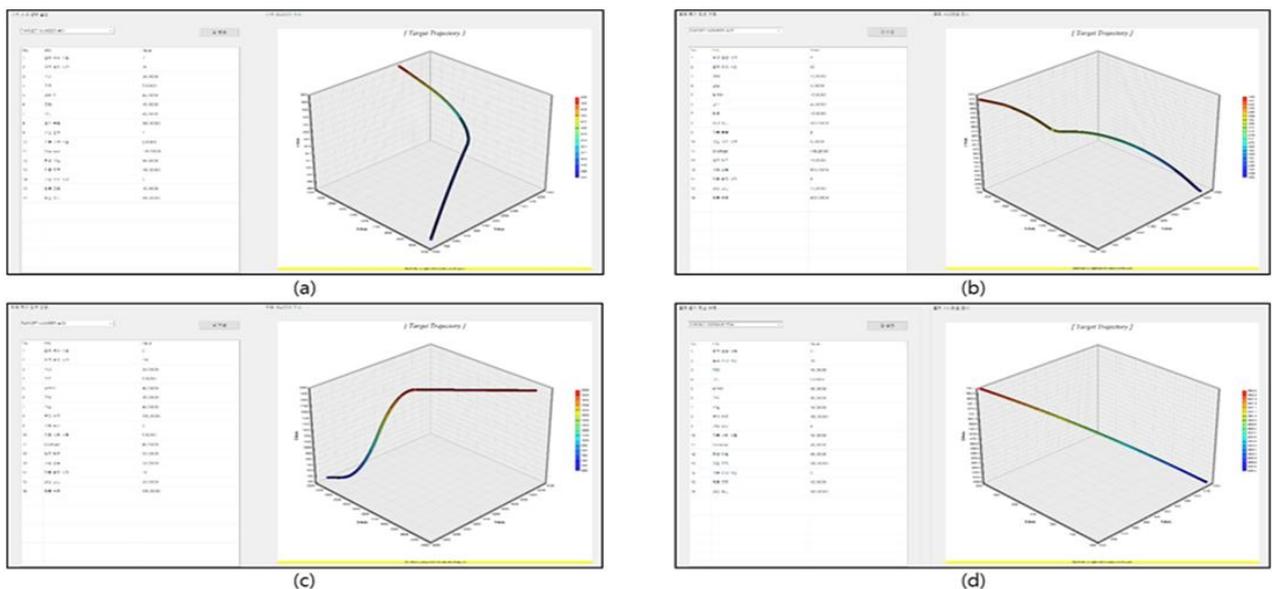


Fig. 14. Implementation Result of TTVS, Target Maneuver (a) Turn (b) Serpentine (c) Altitude Change (d) Velocity Change

REFERENCES

- [1] Stephane Kemkemian, Alain Larroque, and Cyrille Enderli, "The industrial challenges of airborne AESA radars." IET International Radar Conference 2013, October 2013. DOI: 10.1049/cp.2013.0492
- [2] Gu Xiaojie, and Li Wenchao, "Utilization of time resource for the dwell scheduling of the phase array radar," 2016 CIE International Conference on Radar, October 2017. DOI: 10.1109/RADAR.2016.8059340
- [3] Cao Lanying, and He Kefeng, "Time resource scheduling algorithm for multiple target tracking in jamming," IET International Radar Conference 2013, October 2013. DOI: 10.1049/cp.2013.0226
- [4] Li Bo, Tian Linyu, Chen Daqing, and Liang Shiyang, "An adaptive dwell time scheduling model for phased array radar based on three-way decision," Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 31, No. 3, pp. 500-509, June 2020. DOI: 10.23919/JSEE.2020.000030
- [5] Emrah Onat, and Mahmut Serin, "Implementation of digital pulse doppler radar signal generator and receiver," 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, June 2011. DOI: 10.1109/SIU.2011.5929749
- [6] Suraj Bhan Rathor, Shashikiran Dayalan, and A A Basil Raj, "Digital Implementation of Radar Receiver and Signal Processing Algorithms," 2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking, September 2021. DOI: 10.1109/ICSCAN53069.2021.9526463
- [7] Muhammad Zohaib Butt, and Sufi Tabassum Gul, "Range and Doppler estimation of multiple moving targets for pulsed Doppler radars with CFAR detector at very low SNRs," 2014 International Conference on Emerging Technologies, January 2015. DOI: 10.1109/ICET.2014.7021034
- [8] Peter Rohal, and Jan Ochodnický, "Particle Filter Optimization for Adaptive Radar Data Processing," 2020 New Trends in Signal Processing, November 2020. DOI: 10.1109/NTSP49686.2020.9229551
- [9] M. N. Radhika, Mahendra Mallick, Xiaoqing Tian, and Jing Liu, "Performance Evaluation of IMM-based Nonlinear Filters for a Highly Maneuvering Aircraft," 2021 International Conference on Control, Automation and Information Sciences, December 2021. DOI: 10.1109/ICCAIS52680.2021.9624590
- [10] Mrityunjay Singh, Piyush Gupta, and Ankur Kumar Singhal, "Agreement Protocols for a Dataspace System," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development, May 2015. INSPEC Accession Number: 15109805
- [11] Karun Thankachan, "Automating anomaly detection for exploratory data analytics," 2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics, May 2018. DOI: 10.1109/ICICI.2017.8365228
- [12] Yan Liu, Ning Cau, Wei Pan, and Guangwei Qiao, "System anomaly detection in distributed systems through MapReduce-Based log analysis", 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, September 2010. DOI : 10.1109/ICACTE.2010.5579173
- [13] Nazrin Abbasi, and Murat Can Ganiz, "Log and Execution Trace Analytics System", 2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, September 2021. DOI : 10.1109/INISTA52262.2021.9548437
- [14] Jinhan Kim, Valeriy Savchenko, Kihyuck Shin, Konstantin Sorokin, Hyunseok Jeon, Georgiy Pankratenko, Sergey Markov, and Chul-Joo Kim, "Automatic Abnormal Log Detection by Analyzing Log History for Providing Debugging Insight", 2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice, December 2020. INSPEC Accession Number: 20257960
- [15] Van-Hoang Le, and Hongyu Zhang, "Log-based Anomaly Detection Without Log Parsing", 2021 36th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, January 2022. DOI : 10.1109/ASE51524.2021.9678773
- [16] X. Zhang, Y. Xu, Q. Lin, B. Qiao, H. Zhang, Y. Dang, C. Xie, X. Yang, Q. Cheng, Z. Li et al., "Robust log-based anomaly detection on unstable log data," in Proceedings of the 2019 27th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, 2019. <https://doi.org/10.1145/3338931>
- [17] W. Meng, Y. Liu, Y. Zhu, S. Zhang, D. Pei, Y. Liu, Y. Chen, R. Zhang, S. Tao, P. Sun et al., "Loganomaly: Unsupervised detection of sequential and quantitative anomalies in unstructured logs." in IJCAI, vol. 7, 2019. <https://doi.org/10.24936/ijcai.2019/658>
- [18] ChartDirector, <https://www.advsofteng.com>

Authors



Min-Jung Kang received the B.S. degrees in Computer Engineering from Yeungnam University, Korea, in 2015. She is currently working in Hanwha Systems Co. She is interested in Active Electronically Scanned

Array Radar, Target Detection&Tracking, Software Design and so on.