

성능개량 된 피아식별장비의 전시거리 인식 오류 개선에 관한 연구

정성빈*, 이상민
국방기술품질원 지휘정찰센터

A Study on Improving Display Distance Recognition Errors for Performance-Improved IFF Equipment

Sung-Bin Jung*, Sang-Min Lee
C4ISR Center, Defense Agency for Technology and Quality

요 약 저고도탐지레이더의 피아식별장비는 기술의 발전과 Mode-0에서 보안상 취약점이 발견되어 Mode-0'로 성능 개량되었다. 노후 해외도입 무기체계인 저고도탐지레이더는 기존 체계의 소프트웨어를 직접 수정할 수 없어 신규 제작된 피아식별장비의 전시제어기를 통해 기존 저고도탐지레이더 체계의 콘솔 화면과 Mode-0' 피아식별 정보를 융합하여 전 시기로 영상을 출력하는 방법으로 성능개량 되었다. 그런데 성능개량 된 이후 저고도탐지레이더의 전시기 화면에 설정한 전시거리 이상의 피아식별 항적들이 전시되는 항적전시 오류 현상이 발생하였다. 신규제작 된 피아식별장비의 전시제어 기가 기존 체계 화면의 전시거리(0/00/00+20 km)를 인식하고 해당 전시거리 내 피아식별 항적을 융합하여 전시하는 데, 원인 분석을 통해 전시거리를 인식하는 알고리즘 오류가 원인임을 알 수 있었다. 이를 해결하기 위해 R, G, B 평균 값을 이용한 개선된 전시거리 인식 알고리즘을 도출 및 적용하여 오류를 해소하였다. 마지막으로 단품시험을 통해 유효 성을 입증하였고 소프트웨어 신뢰성 시험을 통하여 결함이 없음을 검증하였다. 따라서 이 연구가 전력화된 노후 해외도 입 무기체계의 성능개량 시 참고자료가 될 것으로 기대한다.

Abstract Mode-0' has been adopted for "Identification Friend or Foe" (IFF) equipment of low-altitude surveillance radar due to advancements in technology and the discovery of security vulnerabilities in Mode-0. Low-altitude surveillance radar is an obsolete imported weapon system with software that cannot be directly modified. Therefore, the improved display controller of IFF equipment receives input from the console screen of the radar system and simultaneously fuses it with Mode-0' target-identification information to present the output on the display unit of the low-altitude surveillance radar. After improvement, target tracks beyond the set display range were erroneously shown in the display unit screen of Low-altitude surveillance radar. The display range (0/00/00+20 km) of the radar system was recognized, and target tracks within that range were integrated by the improved display controller of IFF equipment. The algorithm error for recognizing the display range was the cause of the error. The error was resolved by developing an enhanced algorithm that utilizes the average RGB values. Finally, the effectiveness of the solution was validated through single-item performance tests and software reliability tests. It is expected that this study could serve as a reference for performance improvement in outdated imported weapon systems.

Keywords : IFF Equipment, Low Altitude Surveillance Radar, Track Display, Algorithm, Image Fusion, Average Value of RGB

*Corresponding Author : Sung-Bin Jung(DTAQ)

email: sungbin@dtaq.re.kr

Received July 6, 2023

Accepted September 1, 2023

Revised August 1, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

저고도탐지레이더는 차량 탑재형 레이더로서 야전에서 신속히 이동 및 배치되어 저고도로 침투하는 비행물체를 탐지한다. 그리고 탐지한 표적 제원을 상위부대에 제공하여 조기에 대응할 수 있도록 해주는 방공레이더이다. 저고도탐지레이더는 1990년대 최초로 도입한 이후 현재까지 방공 방어 무기에 표적 제원을 제공하는 방공레이더로서 중요한 역할을 하고 있다[1]. 저고도탐지레이더는 탐지한 표적에 대하여 아군인지를 적군인지를 식별하기 위해 피아식별장비가 장착된다. 저고도탐지레이더의 피아식별장비는 1960년대 암호 알고리즘인 Mode-0을 적용하여 사용되던 중 기술의 발전과 Mode-0에서 보안상 취약점이 발견되어 Mode-0'로 성능개량 되었다[2].

Mode-0'로 성능개량 이후 해당 장비를 운용하던 중 전시화면에서 항적전시 오류가 발생하였다. 저고도탐지레이더의 전시화면에 표시되는 Range Ring은 지도에서 특정 지점을 중심으로 한 원 형태의 표시물로서 설정한 반경 내에 해당하는 지점들을 나타내기 위한 화면표시 도구인데, ON/OFF 설정이 가능하다. 이러한 기능의 Range Ring 모드를 OFF로 설정했을 때 항적전시 오류가 발생하였다. Fig. 1의 (a)와 같이 전시화면에서 Range Ring 모드를 ON 설정 그리고 전시거리를 00 km로 설정하였을 때, 전시거리인 00 km 이상에 있는 피아식별 항적들은 레이더 전시화면에 미 전시되는 것이 정상이다. 마찬가지로 Range Ring 모드를 OFF로 설정했을 때에도 설정한 전시거리 00 km 이상의 피아식별 항적들이 전시되면 안 됨에도 불구하고 Fig. 1의 (b)와 같이 전시되는 현상이 발생하였다.

본 논문에서는 Mode-0'로 성능개량 한 피아식별장비의 전시거리 인식 오류를 개선하기 위해 먼저 식별된 오류 현상에 대해 원인분석을 하였다. 이를 통하여 개선방안들을 도출하였고, 도출된 개선방안들을 검토하여 최적의 개선방안을 선택하였다. 이후 선택된 개선방안의 개선 결과를 확인하고 검증한 뒤 최종 적용하였다.

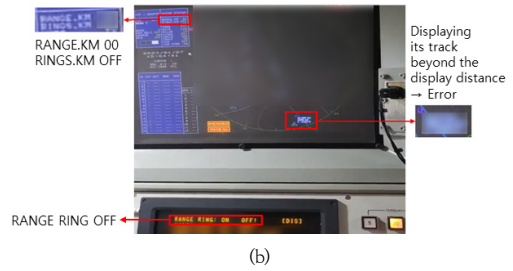
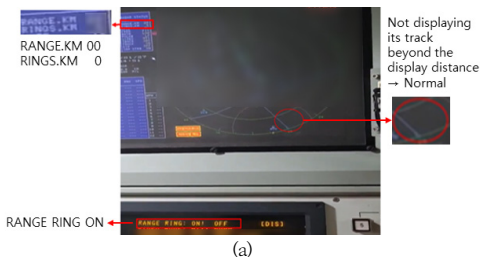


Fig. 1. Display of track before improvement
(a) Normal (b) Error

2. 본론

2.1 성능개량 피아식별장비 개요

피아식별시스템은 질문 채널과 응답 채널로 이루어진다[3]. 질문 채널에서는 암호화된 신호를 보내고 응답 채널에서는 질문 채널에서 보낸 신호를 감지하고 그에 맞는 식별정보를 포함한 응답 신호를 전송한다. 그리고 질문 채널은 다시 돌아오는 응답 신호로 아군/적군 여부를 식별한다. 저고도탐지레이더는 저고도로 침투하는 이동 표적에 대하여 암호화된 질문 신호를 보내며, 저고도탐지레이더에 장착되는 성능개량 된 피아식별장비는 질문기, 연동제어기, 전원공급기 그리고 전시제어기로 구성된다(Fig. 2).

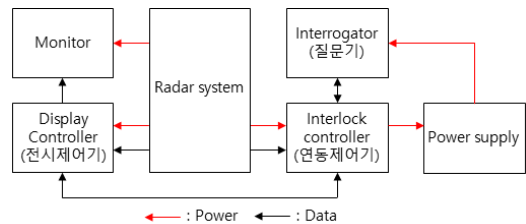


Fig. 2. Block diagram of identification equipment

각 장비별 주요기능으로 먼저 질문기는 성능개량된 Mode-0'뿐 아니라 Mode-0을 제외한 나머지 Mode를 운용하며 RF 전파를 안테나로 송수신한다. 연동제어기는 저고도탐지레이더의 기존 체계 데이터를 성능 개량된 질문기로 전달하고 저고도탐지레이더의 기존 체계 전원을 입력받아 전원공급기에 필요한 전원으로 변경 및 공급한다. 전원공급기는 연동제어기로부터 전원을 입력받아 질문기로 전원을 공급한다. 그리고 전시제어기는 저고도탐지레이더의 기존 레이더 체계 정보에 성능개량 된 Mode-0' 피아식별 정보를 융합하여 저고도탐지레이더 전시기를

통해 화면에 전시한다.

노후 해외도입 무기체계인 저고도탐지레이더는 피아식별장비의 성능개량을 위해 기존 저고도탐지레이더 체계의 소프트웨어를 직접 수정할 수 없었다. 따라서 Fig. 3과 같이 항적전시를 위해 신규 제작된 전시제어기가 저고도탐지레이더의 기존 콘솔 화면 영상을 입력받아 디지털로 변환하고 동시에 Mode-0' 피아식별 정보를 융합하여 저고도탐지레이더 전시기로 영상을 출력한다.

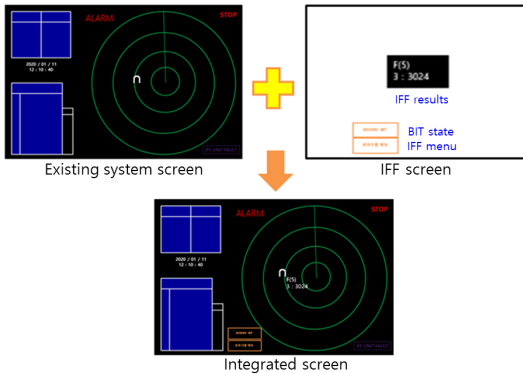


Fig. 3. Concept of integrated screen

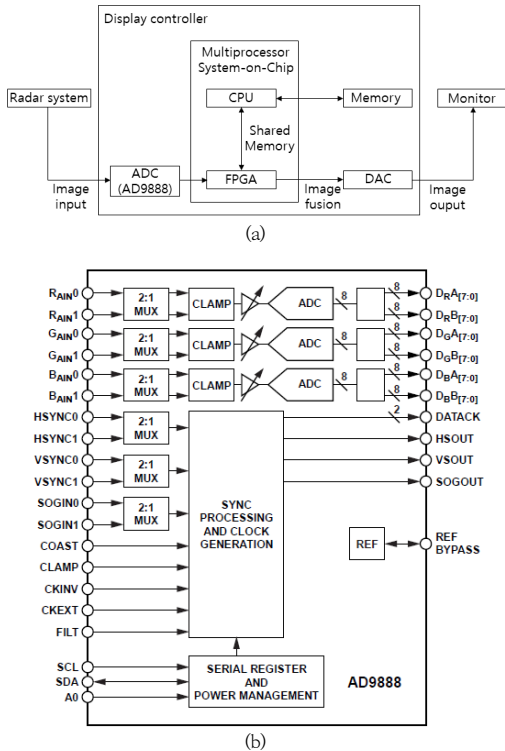


Fig. 4. Block diagram
(a) display controller (b) AD9888

기존 저고도탐지레이더 체계 화면과 Mode-0' 피아식별정보를 융합하여 화면에 전시하기 위한 전시제어기의 기능블록도는 Fig. 4의 (a)와 같다. 먼저 전시제어기로 입력된 기존 저고도탐지레이더 체계 화면의 아날로그 RGB 신호는 AD9888(analog flat panel interface)을 거쳐 1024×768 Pixel로 디지털화되어 FPGA로 입력된다(Fig. 4의 (b)).

아날로그 비디오 신호를 디지털 신호로 변환하는 절차는 먼저 장치의 6개 핀을 통해 R, G, B 0.5~1 V 아날로그 신호를 입력받는다. 그리고 멀티플렉서를 통하여 두 개의 입력 신호 중 하나를 선택하고 출력한다. 멀티플렉서에서 출력된 신호는 Clamp, Gain and Offset 기능을 통하여 ADC(Analog to Digital Converter)에 가장 적절한 입력으로 조정된다[4]. Clamp는 DC 오프셋을 조정하여 검은색은 접지, 흰색은 약 0.75 V로 ADC의 범위에 맞춘다. Offset은 입력 신호가 0 V일 때에도 변환 결과가 0이 아닌 값으로 나타나는 오차를 보정하고, Gain은 입력 신호의 크기와 변환된 디지털 값 사이에 비례 관계가 정확히 일치하지 않는 오차를 보정한다[5]. 그리고 R, G, B 아날로그 신호와 함께 동기화 신호인 수평 동기화 신호(hsync)와 수직 동기화 신호(vsync)를 입력받는다. 하나의 정지 이미지인 프레임(frame)은 여러 수평 라인으로 구성되는데, 1024×768 Pixel의 경우 768개의 수평 라인으로 구성된다. 수평 동기화 신호는 새로운 수평 라인의 시작을 나타내고 수직 동기화 신호는 새

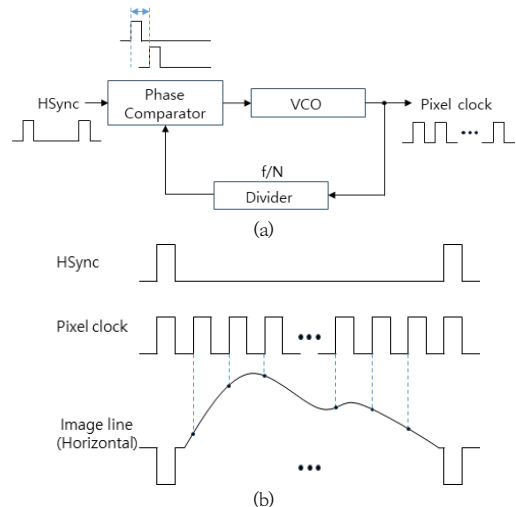


Fig. 5. Analog video signal process
(a) Block diagram of PLL
(b) Hsync, Pixel clock and Image line

로운 프레임의 시작을 나타낸다. Fig. 5의 (a)와 같이 수평 동기화 신호는 PLL(Phase -Locked Loop)을 통해 동기화된 Pixel clock을 생성한다[6]. 동기화된 Pixel clock은 각 픽셀의 위치를 결정하고 디지털 신호로 변환하기 위해 아날로그 신호를 샘플링하는 주기를 제공한다 (Fig. 5의 (b)). 최종적으로 0부터 255까지 범위의 8-bit 이진수 디지털 신호로 변환된다[7]. 변환된 기존 저고도 탐지레이더 체계 화면의 디지털 신호는 FPGA를 거쳐 CPU에서 Mode-0' 피아식별정보와 융합되고 DAC를 거쳐 최종적으로 화면에 전신된다.

2.2 전시거리 인식 오류분석

2.2.1 전시거리 인식방법

설정된 전시거리 내 해당하는 Mode-0' 피아식별 정보를 융합하고 전시하기 위해서는 먼저 기존 저고도탐지레이더 체계화면이 0/00/00+20 km 인지 인식해야한다. 기존 저고도탐지레이더의 전시거리는 레이더 조종판의 0 km, 00 km, 00+20 km 버튼을 조작하면 저고도 탐지레이더의 기존 레이더 체계 제어부로 전송돼 PPI(Plan Position Indicator, 평면위치표시기)의 전시거리와 동심원의 단위 거리를 설정하고 전시한다(Fig. 6의 (a), (b)).

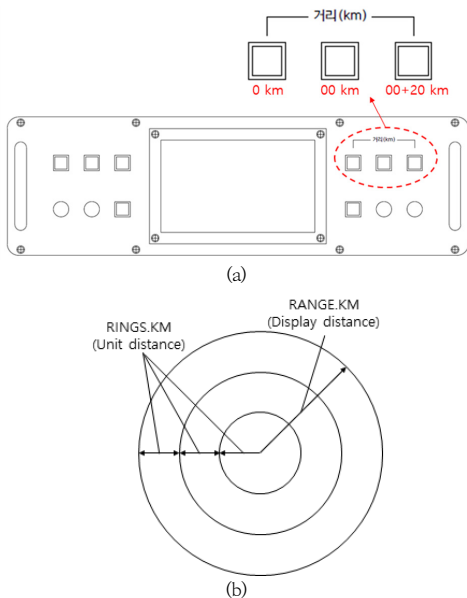


Fig. 6. Pre-existing radar system
(a) Distance setting button
(b) Display distance and unit distance

성능개량 시 기존 레이더 체계 변경을 최소화하기 위해 전시제어기는 기존 레이더 체계의 제어부로부터 전시거리 설정 결과를 직접적으로 받을 수 없는 구조로 설계되었다. 따라서 항적전시를 위한 전시거리 인식은 먼저 Fig. 7의 기존 체계 화면의 특정 영역 2곳의 문자 크기에 맞추어 10×13 Pixel로 설정하고 해당 영역 각 Pixel의 R, G, B값을 추출한다. 입력 영상의 배경색은 청색으로 R, G, B값은 0, 0, 255이고 문자는 황색으로 R, G, B값은 255, 255, 0이다. 추출한 R, G, B값을 FPGA 내부 레지스터에 저장하고 소프트웨어에서는 R, G, B 평균값이 저장된 레지스터를 읽어서 분석 및 판단하여 전시거리 0 km, 00 km, 00+20 km를 획득한다.

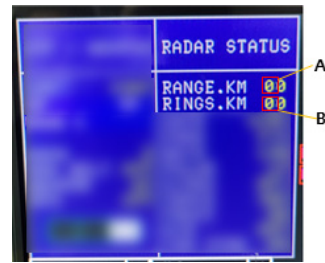


Fig. 7. Specific area of the screen for recognizing display distance before improvement

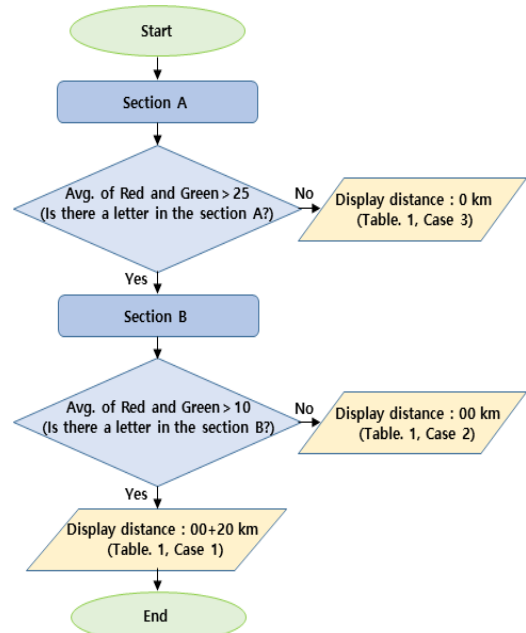


Fig. 8. Flowchart of recognizing display distance before improvement

전시거리와 단위 거리의 결정은 Fig. 8의 조건처리 순서대로 진행되며 Table 1과 같이 전시거리는 3가지 경우로 나타난다. 먼저 식별영역 A(Fig. 7)의 Red, Green 평균값으로 전시거리가 00+20/00 km 인지 0 km인지를 1차 구분한다. 식별영역 A의 Red 평균값이 25를 초과하고 Green 평균값이 25를 초과하면 전시거리는 00+20/00 km이다(Case 1, 2 of Table 1). 이에 해당하지 않으면 전시거리는 0 km이다(Case 3 of Table 1). 다음으로 00+20 km와 00 km는 식별영역 B(Fig. 7)의 Red, Green 평균값으로 2차 구분한다. 식별영역 B의 Red 평균값이 10을 초과하고, Green 평균값이 10을 초과하면 즉, 문자가 있다면 전시거리는 00+20 km(Case 1 of Table 1)이고, Red 평균값이 10 이하 이거나, Green 평균값이 10 이하이면 전시거리는 00 km(Case 2 of Table 1)이다.

Table 1. Case of display distance before improvement

No.	Case	Display distance	Conditional statement
1		00+20 km	Section A : Avg. of Red & Green > 25 Section B : Avg. of Red & Green > 10
2		00 km	Section A : Avg. of Red & Green > 25 Section B : Avg. of Red or Green ≤ 10
3		0 km	Section A : Avg. of Red or Green ≤ 25

2.2.2 전시거리 인식 오류 원인

Range Ring 모드를 ON 설정 시 Table 2의 Case 1과 같이 RADAR STATUS 창 동심원의 단위 거리(RINGS.KM)가 숫자로 표시된다. 반면 Range Ring 모드를 OFF 설정 시 Case 2와 같이 RADAR STATUS 창 동심원의 단위 거리(RINGS.KM)가 "OFF"라는 문자가 표시된다. 개발 시 Range Ring ON/OFF 동작으로 영역 B에 숫자 이외의 문자 "OFF"가 전시되는 상황을 인식하지 못하였다. 따라서 Case 2와 같이 00 km로 전시거리를 설정하고 Range Ring을 OFF로 설정한 경우, 식별영역 B에 전시되는 F가 문자로 인식된다. 이는 Fig. 8의 알고리즘에 의해 Case 1과 같이 전시거리 00+20 km 조건과 일치하게 되어 전시거리를 00 km로 설정하였음

에도 00+20 km로 인식하여 항적전시 오류가 발생하였다.

Table 2. Perceiving under the same conditions despite varying set distances

No.	1	2
Case		
Set distance	00+20 km	00 km
Display distance	00+20 km	00+20 km
Conditional statement	Section A : Avg. of Red & Green > 25 Section B : Avg. of Red & Green > 10	

2.3 개선안 도출 및 검토

먼저 전시거리 인식 오류를 개선하기 위해, 자동차 번호 인식(Auto Number Plate Recognition)에 사용되는 딥러닝 알고리즘을 활용하여 문자를 인식하는 방법은 배제하였다. 딥러닝 알고리즘을 사용한다면 Fig. 9와 같이 전시거리에 해당하는 영역의 문자를 CNN(Convolution Neural Network) 알고리즘을 통해 인식하고 00+20 km, 00 km, 0 km를 판단한다. 성능개량 완료된 전시제어기 CPU의 주요 기능은 질문기 및 압호장비 통신, 항적 데이터 가공 및 추적알고리즘 처리, BIT 처리와 같은 피아식별 표적 정보 전시이다. 만약 CNN 알고리즘을 적용할 경우 전시거리에 해당하는 영역을 CPU로 전송한 후 CPU에서 별도의 이미지 프로세싱 작업(Input→Convolution, ReLU, Pooling→Fully connected layer→Output layer)을 수행해야 한다[8]. 이는 소프트웨어 구조의 복잡도가 상승하고 처리속도가 지연된다. 따라서 다양한 환경에서 숫자 인식을 원활히 하기 위하여 사용되는 딥러닝 알고리즘은 과도한 기능으로 판단하여 배제하였다.

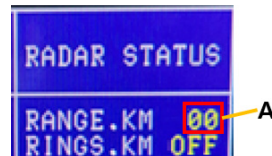


Fig. 9. Specific area of the screen for CNN

소프트웨어 코드의 최소화를 위해 문자 인식 알고리즘을 제외하고 기존 R, G, B 평균값을 이용한 개선방안 2가지를 도출하였다. 첫 번째 도출된 개선안은 패턴 인식

영역을 추가 지정하는 것이다. 기존의 패턴 인식 영역 2개소는 현행 유지하고, Fig. 10의 (a)와 같이 A1과 C 영역 2개소를 추가하였다. A1 영역은 A 영역의 하단이며, C 영역은 RINGS.KM OFF의 O 전시 영역이다. 전시거리 결정은 Fig. 10의 (b)의 개선된 조건처리 순서대로 진행된다. C 영역을 먼저 확인하여 O가 없으면 기존의 인식방법인 영역 A, B를 활용하여 전시거리를 판단한다. C 영역을 확인하여 O가 있는 경우는 A에 문자가 없으면 0 km로 판단하고, A 영역에 문자가 있으면 A1 영역의 Red, Green 평균값이 200 이하이면 00+20 km, 200 이상이면 00km로 판단한다.

두 번째 도출된 개선안은 기존의 패턴 인식 영역 2개소를 삭제하고 전시되는 숫자 특성을 고려하여 Fig. 11의 (a)와 같이 기존 A 영역(RANGE.KM)의 첫 자리 아래 1개소 10×2 Pixel로 설정 변경하는 것이다. 전시거리 결정은 Fig. 11의 (b)의 개선된 조건처리 순서대로 진행된다. Pixel 내 RGB 평균값에 따라 전시거리 00+20 km, 00 km, 0 km를 판단한다. Red, Green 평균값이 50 미만 15 초과일 경우 00+20 km, 평균값이 50 이상일 경우 00 km, 그 외에는 0 km로 판단한다(Tabel 3).

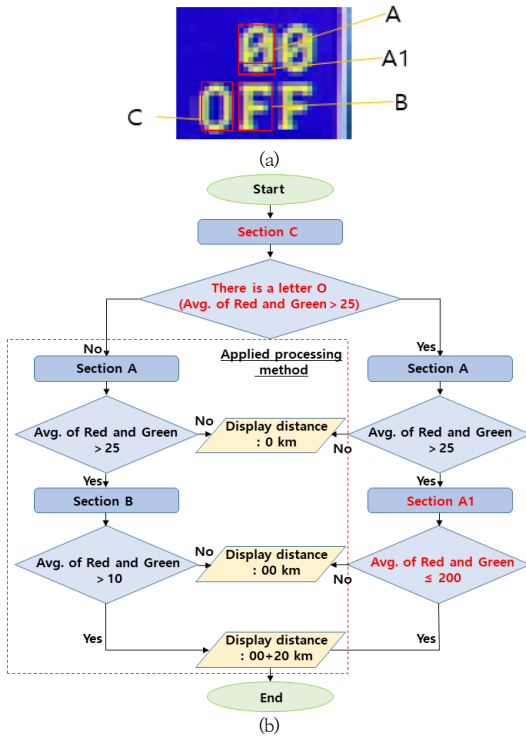


Fig. 10. First improvement plan
 (a) Specific area of the screen
 (b) Flowchart of recognizing display distance

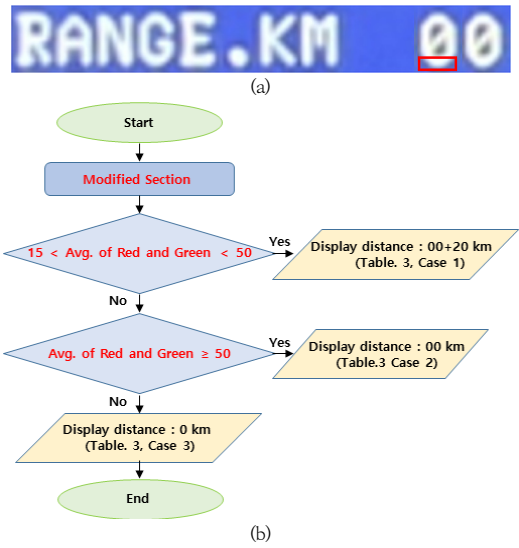


Fig. 11. Second improvement plan
 (a) Specific area of the screen
 (b) Flowchart of recognizing display distance

Table 3. Case of display distance after improvement

No.	Case	Display distance	Conditional statement
1		00+20 km	$15 < \text{Avg. of Red \& Green} < 50$
2		00 km	$\text{Avg. of Red \& Green} \geq 50$
3		0 km	$\text{Avg. of Red \& Green} \leq 15$

도출된 2가지 개선안에 대해 검토한 결과, 첫 번째 개선안은 기존의 인식 영역을 유지하면서 신규 조건을 2개소 추가하므로 기존 사용 영역에 대한 신뢰성이 있다. 하지만 신규 패턴 인식 영역에서 문자 유무를 1차 판정한 후 다시 기존 방식대로 00+20/00km인지 0km인지를 2차 판정하고 추가로 00+20km인지 00km 인지를 3차로 판정하는 등 조건 체크 함수가 3단계로 수행되어야 한다. 반면 두 번째 개선안은 기존에 사용하던 영역이 아닌 새로운 영역을 지정하여 판단하는 방법이지만, 기존보다 패턴 인식 영역의 범위 및 위치가 좁으므로 처리속도가 향상 되고 조건 체크 함수를 간략화 할 수 있다. 또한, 전시되는 문자의 특성상 하나의 패턴 인식 영역만으로도

0km/00km/00+20km의 구분 가능하므로 최소한의 영역 설정으로 전시거리 인식오류를 개선할 수 있으므로 두 번째 개선안으로 결정하였다.

2.4 개선 결과 및 검증

개선안을 적용하여 소프트웨어 수정결과, Range Ring ON/OFF와 무관하게 체계에서 전시거리를 00+20 km에서 00 km로 변경 시 전시거리 00 km에 부합된 동작과 00 km 이상의 표적은 전시하지 않음을 실 체계에 적용하여 확인하였다(Fig. 12).

다음으로 소프트웨어 검증을 위해 무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼에 따라 소프트웨어 신뢰성 시험을 하였다. 소프트웨어 신뢰성 시험은 동작할 수 있는 다양한 경우의 수를 확인하여 소프트웨어가 발생시킬 수 있는 결함을 식별하는 시험이며, 정적시험과 동적시험으로 구분된다[9]. 정적시험은 소프트웨어를 실행하지 않고 실시하며 기능 변경 시 편의성을 제공하는 코딩 규칙 검증과 취약점 점검 그리고 소스코드 메트릭 점검이 있다[10]. 동적시험은 하드웨어에 소프트웨어를 탑재하고 시험절차에 따라 소프트웨어를 실행하고 코드 실행률을 점검하는 것이다. 정적시험 3항목, 동적시험 1항목에 대하여 Table 4와 같이 시험기준을 모두 충족함을 확인하였다.

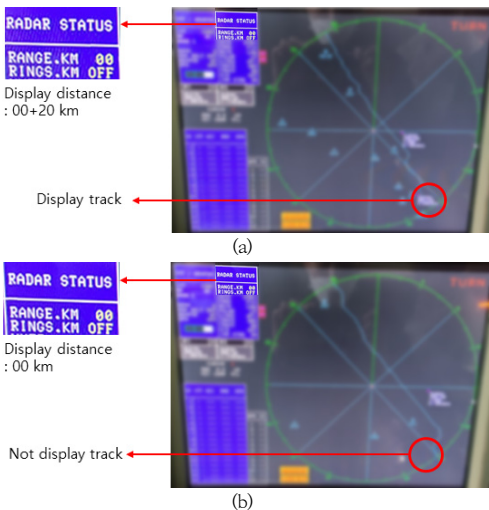


Fig. 12. Display of track after improvement
 (a) Display its track within display distance(00+20 km)
 (b) Not display its track beyond display distance(00 km)

Table 4. Result of software reliability test

Test item		Test standards	Testing tool	Result
Static test	Coding rule	MISRA-CPP 2008	LDRA	Pass
	Vulnerability	CWE659	LDRA	Pass
	Code metrics	5 items including Cyclomatic complexity	LDRA	Pass
Dynamic test	Coverage	Statement coverage	LDRA	Pass

3. 결론

본 논문에서는 저고도탐지레이더의 피아식별장비에서 발생한 전시거리 인식 오류를 개선하기 위하여 전시제어기 소프트웨어 알고리즘 변경에 관하여 연구하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫 번째, 설정한 전시거리 00 km 이상의 피아식별 항적들이 저고도탐지레이더의 전시기에 전시되는 오류 현상이 발생하였다. 두 번째, 성능개량 된 피아식별장비의 전시제어기는 전시거리를 획득하고 융합하기 위하여 기존 레이더 체계 화면에서 2곳의 특정 영역(A, B)의 R, G, B 평균값을 이용하는데, 영역 B에 숫자 이외의 문자 "OFF"가 전시되는 상황을 인식하지 못하여 Range Ring OFF 그리고 전시거리 00 km로 설정했을 경우 전시거리를 00+20 km로 인식하여 오류가 발생함을 확인하였다. 세 번째, 자동차 번호 인식에 사용되는 CNN 알고리즘을 적용하여 문자를 인식하는 방법은 CPU에서 기존 피아식별 표적 정보 전시 기능 외에 별도의 이미지 프로세싱 작업을 수행해야 하므로 소프트웨어 구조의 복잡도가 상승하고 처리속도가 지연되므로 과도한 기능으로 판단하여 배제하였다. 네 번째 전시거리 인식을 위한 패턴 인식 영역을 최소화하여 소프트웨어 코드를 최소화하고 조건 체크 함수 간략화하며 처리속도를 향상 할 수 있는 처리 알고리즘으로 개선하였다. 마지막으로 개선된 알고리즘으로 소프트웨어를 수정하여 전시거리 00 km에 부합된 동작과 00 km 이상의 표적은 전시하지 않음을 실 체계에 적용하여 확인하였다. 그리고 소프트웨어 신뢰성 시험으로 결함이 없음을 검증하였다.

References

- [1] Taesung Son, Yoonho Park, Seunghan Lee, The Report on the Preproduction Quality Assurance Activities for the Low Altitude Surveillance RADAR, TPS-830K, Technical report, Defence Agency for Technology and Quality, Korea, pp.18-19.
- [2] Younghwan Jeong, Chansu Kim, Jungin Oh, Wonsik Lee, Sounghyouk Wi, "The Design of a Multi-Function Radar Simulator for the Identification of Friend or Foe(IFF) in the Mode-5 Product Improvement Program", *Journal of KIISE*, Vol.47, No.6, pp.622-628. DOI: <https://doi.org/10.5626/IOK.2020.47.6.622>
- [3] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh and G. Zavolodko, "Model and Method for Detecting Request Signals in Identification Friend or Foe Systems," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, IEEE, Polyana, Ukraine, pp.1-4, February-March 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779322>
- [4] Jahne, Bernd. Digital Image Processing—Concepts, Algorithms, and Scientific Applications, p.383, Springer-Verlag, 1991, pp.350-353. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-11565-7>
- [5] Dr. Steve Arar, ADC Offset and ADC Gain Error Specifications, ALL ABOUT CIRCUITS, July 17, 2022, Available From: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/adc-offset-and-gain-error-specifications/> (accessed June 27, 2023)
- [6] Awock, Graeme J., and Ray Thomas, Applied image processing, p.300, Macmillan, 1995, pp.83-86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-349-13049-8>
- [7] William bolton, Mechatronics translated by T.J. Lho, H.J. Park, K.S. Boo, D.S. Hong, p.888, CIR, 2017, pp.125-127. DOI: <https://doi.org/10.979.115610/3349>
- [8] S. Albawi, T. A. Mohammed and S. Al-Zawi, "Understanding of a convolutional neural network," *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, IEEE, Antalya, Turkey, pp.1-6, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186>
- [9] Defense Acquisition Program Administration(DAPA) Manual "Weapon System Software Development and Management Manual", 2022.
- [10] Jae-Hyeong Yun, Jiseon Yu., "Improving the Coding Rules of Java for Weapon Systems Software", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.10, pp.690-696. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.10.690>

정 성 빈(Sung-Bin Jung)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경상대학교 기계공학
- 2022년 8월 : 창원대학교 산업대학원 전기전자제어공학과 제어계측공학 (제어계측공학석사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

레이더 장비, 국방신뢰성

이 상 민(Samg-Min Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 포항공과대학교 기계공학 (기계공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

레이더 장비, 국방신뢰성