

## 다기능레이더 데이터 획득 및 분석 장치 개발

### The Development of the Data Acquisition & Analysis System for Multi-Function Radar

송 준 호\*

Junho Song

#### Abstract

This paper describes Data Acquisition & Analysis System(DAS) for analysis of the multi-function radar. There are various information - beam probing data, clutter map data, plot data, target tracking data, RT tracking data, radar signal processing data, interface data - this device saves. The most important thing of data analysis is that a researcher gets a view of the whole data. The DAS intergrates with all of the data and provides overall information on the time matters occur. This is very useful advantage for approaching the matter easily. System algorithms of multi-function radar are improved by using this advantage. As a result of, range blank region have fallen about 72% and it is able to keep track in jammer environment.

Keywords : Multi-Function Radar(다기능레이더), Data Acquisition & Analysis System(데이터 획득 및 분석 장치 개발)

#### 1. 서론

레이더 개발과 성능 향상을 위해서 레이더 시험데이터 획득과 획득한 데이터를 이용한 분석은 필수이다. 개발한 레이더가 요구 성능에 맞게 제대로 구현이 되어있는지 개발자는 확인을 해야 한다. 레이더 화면으로 어느 정도는 확인이 가능하나, 정확히 확인할 수 없다. 레이더 성능을 정확히 알아내기 위해서는 레이더 시험데이터를 획득하여 성능에 맞는 분석이 필요하다. 그리고 레이더 성능을 향상시키기 위해서도 세

부적인 기능 분석이 필요하다. 대부분의 레이더 개발회사는 성능 분석 기술을 공개하지 않기 때문에 자체 기술력을 확보해야한다.

다기능레이더는 탐지거리내의 다수 표적을 탐지 및 추적, 유도탄을 포착 및 추적하는 기능을 가진 레이더이다. 이 레이더는 탐색, 추적, 유도탄응답신호 처리의 다양한 기능을 가지고 있어서 다기능레이더라 불리며 안테나, 송신기, 수신기, 신호처리기, 통제기로 구성된다. 안테나를 통해 송신기에서 송신한 파형은 목표물에서 반사 되며, 레이더는 이 반사 신호를 수신기에서 수신하여 통제기의 명령에 따라서 신호처리기가 신호처리를 수행한다.

다기능레이더의 분석을 위한 데이터 종류는 여러가지가 있다. 빔 방사 정보, 클러터맵 정보, 플랫폼 정

† 2010년 10월 29일 접수~2011년 1월 20일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 송준호(alway5@add.re.kr)

보, 타겟 추적 정보, 유도탄 추적 정보, 신호처리 정보, 여러 장치들 간의 인터페이스 정보 등이 있다. 이 정보들은 여러 장치로부터 생성 및 처리되는 데이터이므로 분석을 위해서는 이정보들을 잘 통합하여 종합적인 분석을 해야 한다.

본 논문은 다기능 레이더를 분석하기 위한 데이터 획득 및 분석 장치 개발에 대해서 기술하였다. 2장에서는 데이터 획득을, 3은 획득한 데이터의 통합을, 4장은 통합된 데이터의 종합적인 분석 전시를, 5장은 다기능레이더 알고리즘 개선술, 결론에서는 유용성 및 무한한 가능성을 기술하였다.

## 2. 데이터 획득

데이터 획득은 레이더 시험 중 실시간으로 수행된다. 다기능레이더로부터 데이터를 수신과 동시에 획득한 데이터를 저장한다. 저장하기 전 사용자는 여러 데이터 중 저장할 데이터를 선택할 수 있고, 저장과 동시에 저장하는 데이터를 실시간으로 볼 수도 있다.

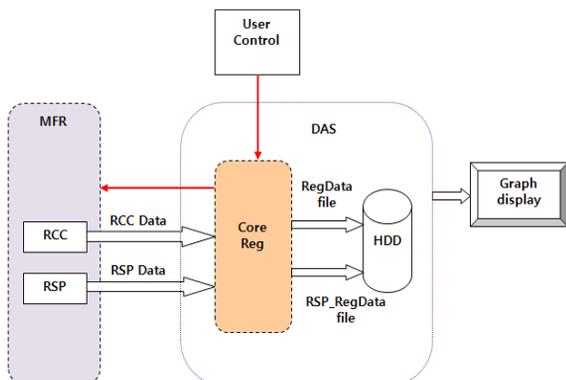


Fig. 1. 데이터 획득 모드에 대한 Static 관계도

Fig. 1은 데이터 획득(CoreReg) 모드에 대한 Static 관계도를 나타낸다. CoreReg 모드의 주요한 Task는 MFR로부터 데이터를 수신하고 기록하는 것이다. 또한 CoreReg의 Graphic 모드를 통해, 현재 기록된 데이터를 분석하고 전시하는데 사용한다. 사용자는 그래픽 형태 또는 디지털 값(Hexa, Decimal, Binary)으로 정보를 전시할 수 있다.

사용자는 데이터 스트림(RCC 데이터, RSP 데이터)을 제어(USER Control)하고, 기록하는 동안에 그래픽

전시창을 통해 기록정보를 전시(Graph Display)한다. RegData file에는 빔 방사 정보, 클러터맵 정보, 플랫폼 정보, 타겟 추적 정보, 유도탄 추적 정보, 여러 장치들 간의 인터페이스 정보 등이 저장되고, RSP\_RegData file에는 신호처리 정보가 저장된다.

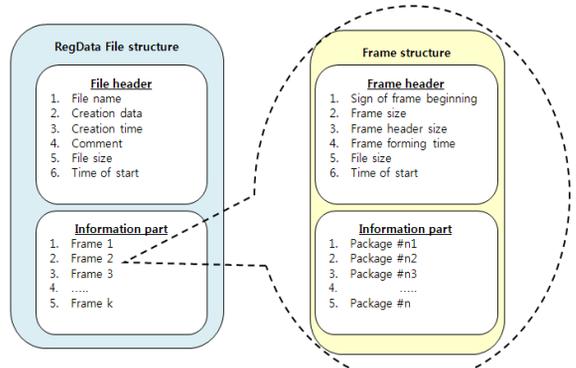


Fig. 2. RegData file 구조

Fig. 2는 RegData file 구조를 나타낸다. 파일구조는 파일 헤더와 정보부분으로 나뉜다. 파일헤더에는 파일 이름, 파일생성 날짜 및 시간, 주석이 저장되고 정보 부분은 프레임들로 구성 된다. 각 프레임은 다시 프레임헤더와 정보부분으로 나뉜다. 프레임헤더에는 식별 코드, 프레임 길이, 헤더 길이, 프레임 생성 시간이 저장되고, 정보부분은 다시 패킷들로 구성된다. 각 패킷은 다시 패킷헤더와 정보부분으로 구성되어 있다. 패킷헤더에는 패킷 길이, 헤더길이, 식별코드가 저장되고, 정보부분은 패킷 종류에 따라 빔 방사 정보, 클러터맵 정보, 플랫폼 정보, 타겟 추적 정보, 유도탄 추적 정보, 신호처리 정보, 여러 장치들 간의 인터페이스 정보 등이 저장된다.

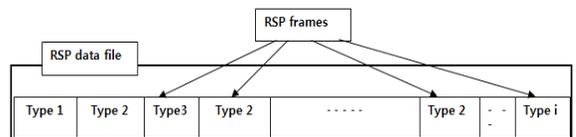


Fig. 3. RSP\_RegData file 구조

Fig. 3은 RSP\_RegData file 구조를 나타낸다. 이파일에는 신호처리 결과 정보가 저장된다. 이정보는 통제기에 의해 가공되지 않은 신호처리기의 신호처리결과이므로 데이터 분석 시 아주 중요한 정보이다.

### 3. 데이터 통합

다기능레이더의 데이터는 패킷 종류에 따라 빔 방사 정보, 클러터맵 정보, 플랫폼 정보, 타겟 추적 정보, 유도탄 추적 정보, 신호처리 정보, 여러 장치들 간의 인터페이스 정보 등 여러 장치로부터 생성 및 처리되는 데이터이므로 분석을 위해서는 이 패킷 정보들을 잘 통합하여 종합적인 분석을 해야 한다.

Review는 HDD로부터 기록 데이터를 불러와서 unpacking 및 scaling하는 intermediate 파일변환 과정을 통해 RVW 파일을 생성한다. 같은 패킷 번호를 갖는 Unpack된 패킷은 분리된 Block에서 합쳐진다. 그 Block 내에서의 패킷들은 시간 순으로 배열되고, Review CSU에서는 이 Block 들을 새로운 포맷의 파일(.rvw)로 HDD에 저장 한다

Fig. 4는 데이터 통합 분석 개념도를 나타낸다. DAS Review는 DAS Core에서 생성한 .rvw 및 .bin 파일을 입력으로 데이터를 분석 전시한다. 패킷 분석을 위한 파라미터 전시창은 packet.exe를 호출하여 실행되며, 보조적으로 디지털 맵정보를 분석정보와 함께 전시하기 위해서는 RadaMapMaker를 호출하여 전시한다.

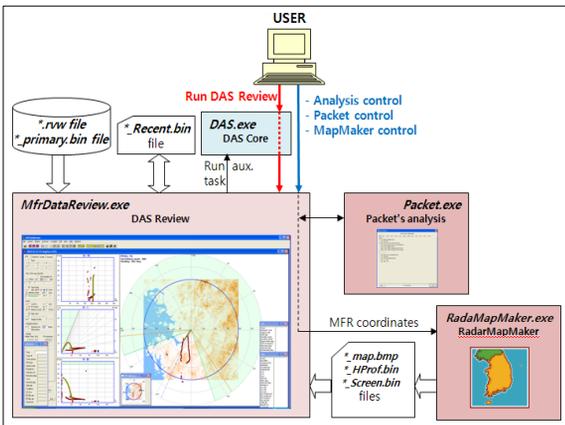


Fig. 4. 데이터 통합 개념도

Fig. 5는 통합 분석의 상세설계에 대한 구성을 보여 준다. 통합 분석 모드는 split-screen 그래픽 인터페이스를 사용하여 구현하였다. 예를 들면, Plot 분석결과는 동시에 PPI 윈도우 뿐 아니라, 방위각/거리 그래프, 방위각/고각 그래프, 거리/고각 그래프, 거리/고도 그래프에 전시된다. 분석결과 중 일부는 한 개의 sub 윈도우 전시창에 전시되기도 한다. 예를 들면 Search Grid

전시는 방위각/고각 그래프에서 전시된다. 분석결과 중 일부는 팝업창을 이용하여 전시된다. 예를 들면, Primary data 전시창인 R-V 매트릭스창이나, Angle 매트릭스 창이 그 예이다.

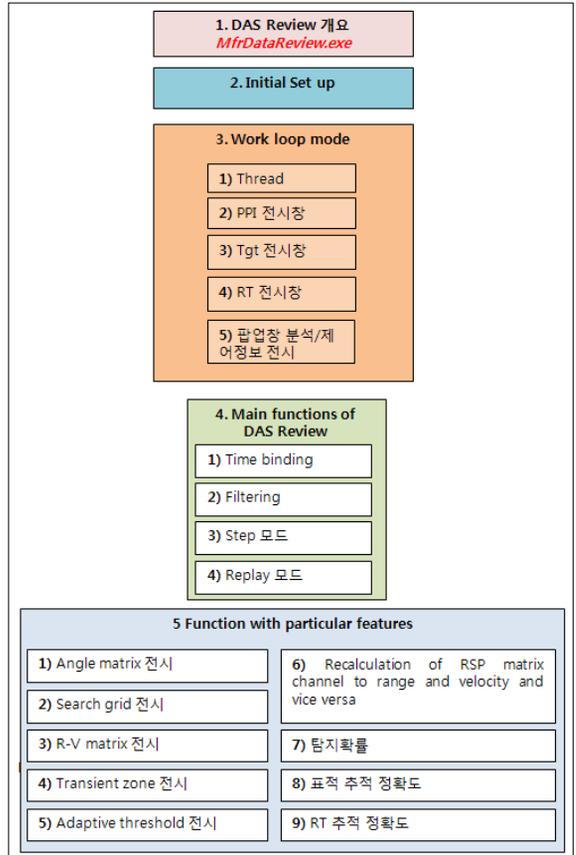


Fig. 5. 통합 분석의 상세설계에 대한 구성

시험 데이터의 복잡한 분석을 지원하기 위해서 다양한 패킷으로 부터의 정보를 동일시간으로 binding 처리과정이 필요하다. 패킷 형성에 있어서 특징적인 것이 있는데, 그 하나는 MFR Probing으로 동기화되는 패킷들이 있고, 그렇지 않은 패킷들이 있다는 것이다. Probing으로 동기화되는 대부분의 패킷들은 어떤 Event에 의해 바인딩이 된다.

이런 binding은 다양한 기능적인 task에서 구현된다. 지정 시간에 의한 패킷을 빠르게 찾기 위한 special 알고리즘이 DAS Review에 구현되어있다. 패킷 세트에서 Tk의 시간을 갖는 #N 패킷을 찾기 위해, 이 세트는 반으로 나누어진다. 그리고나서 알고리즘은 Tk가 있

는 쪽을 체크한다. 체크방법은 패킷 세트의 각 부분의 시작 시간과 끝 시간과 Tk와 비교하여 결정한다. Tk가 있는 반으로 나뉜 패킷세트가 결정되면 다시 반으로 나누는 절차를 반복하고 Tk가 있는 부분을 결정한다. 이 알고리즘은 남은 패킷의 사이즈가 10 패킷 이하일 때까지 반복 수행한다. 10 패킷이하로 들어오면 패킷의 남은부분에 simple moving은 Tk를 가지는 패킷을 찾는 작업을 마치게 된다.

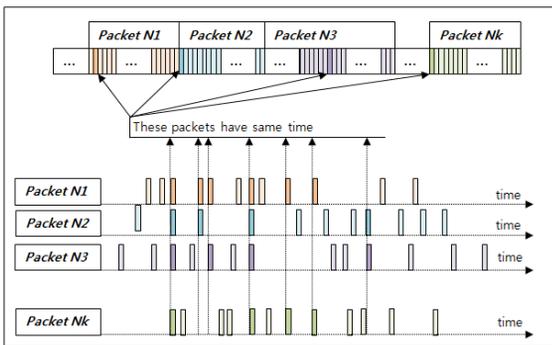


Fig. 6. 동일 시간 패킷 동기화

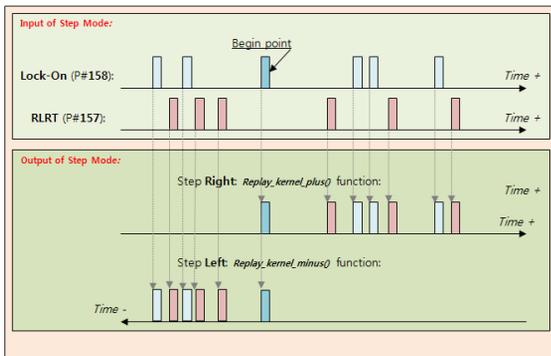


Fig. 7. 스텝기능 수행 함수 개략도

필터링은 기록된 데이터로부터 분석에 필요한 데이터의 일부를 선택하여 분석을 용이하게 하는 기능을 수행한다.

Replay 모드는 Step mode와 유사한 구조를 갖는다. Replay mode는 PPI 윈도우에서 실행되며, 기록된 패킷에 대해 필터링 된 정보를 Initial Point 시점부터 순차적으로 재생 전시를 진행된다. 재생 전시되는 패킷에는 Target Track, RLRT Track, Lock-On, Plot, FOCS, SSF이 있다. Replay mode 알고리즘의 개략적인 입, 출

력은 아래그림과 같고, 알고리즘 수행시의 Reference Clock은 P#151이 기준이 되며, Replay mode를 위해 저장된 데이터의 패킷은 사용자의 요구에 따라 필터링 된다.

#### 4. 종합 분석 전시

DAS Review의 Mainframe으로 부터의 Thread는 인터럽트 메시지를 PPI, Tgt와 RT window로 순차적으로 송신한다. 이 메시지들은 관련 윈도우에 수신된다. 서버 윈도우와 연결하기 위한 내부 인터럽트 Dispatcher이다. DAS Review dispatcher는 모든 윈도우의 제어를 지원하고, Dispatcher는 분석을 위해 몇몇 기능을 시작한다. 사용자가 Tgt Report에서 지정한 영역에 대한 지정데이터를 전시, 전시한 지정데이터를 저장, 저장한 지정데이터를 로드 기능을 지원한다.

PPI 윈도우는 DAS Review의 메인 윈도우이다.

추적(Tgt) 윈도우는 DAS Review의 Trace Target이다. Tgt 윈도우는 거리에 대한, 시간에 대한 서버 윈도우를 포함한다.

RT 윈도우는 거리에 대한, 시간에 대한 서버 윈도우를 포함한다.

DAS Review 제어는 Main frame 메뉴, PPI, Tgt, RT 메뉴, Pop up dialogue와 informer를 사용하여 구현된다.

Angle Matrix 전시는 Popup 윈도우로 추적정보에 대해서 사용자가 포인트를 선택하면 그 포인트에 대한 방위각-고각 그래프를 Prediction, Measurement, Estimation 형태로 전시한다.

Angle Matrix에서 재계산 되는 정보는 각도 measurement 정보이다.

Angle measurement 값을 추정하기 위해서 좌표변환 방정식이 사용된다. 첫 번째, 빔방사패킷의 방위각, 고각 빔은 안테나 위치에 관한 incline, vertical 평면에서의 빔 Deflection으로 재 계산되어야 한다. 그리고 나서 measurement angle error(추적정보패킷)에 빔 Deflection 각도를 추가한다. 계산된 빔 Deflection 각도는 안테나 위치에 대한 각도 measurement 정보로 재 계산된다.

Search grid 전시의 particular feature는 DAS Review에서의 Search Grid는 클러터맵패킷으로 부터의 정보를 사용하여 전시하는 것이 아니라, 모든 Probing 정보를 포함하는 빔방사패킷으로 부터의 정보를 이용하

여 전시한다는 것이다. 클러터맵패킷은 클러터 맵 정보 및 클러터맵 처리과정에서 포함된 Search Grid 정보를 포함하고 있다. 대부분의 경우에 클러터맵패킷은 저장되지 않아서, DAS Review에서의 Search Grid 전시는 빔방사패킷을 사용하여 전시한다. 또한 Search Grid의 매 빔은 빔방사패킷의 beam width의 크기를 가지고 빔 폭 또한 전시되게 된다.

R-V(거리-속도) Matrix 전시 기능은 표적 추적중에 measurement zone, connected domain의 위치, prediction 포인트 위치, measurement 포인트 위치, estimation 포인트 위치를 2차원의 matrix에 전시한다. Measurement zone과 prediction 포인트를 전시하기 위하여 통제기 →신호처리기 패킷을 사용하며, Estimation 포인트를 전시하기 위해서는 추적정보패킷을 사용한다. 또한 connected domain의 위치 및 Error 정보는 RSP 출력 데이터인 신호처리기→통제기 패킷을 사용한다. Measurement 포인트 위치는 통제기→신호처리기 패킷의 measurement 필터 중심 위치에서 신호처리기→통제기 패킷의 measurement error(ErrR, ErrV) 관한 데이터 정보를 사용함으로써 measurement 포인트를 전시한다.

신호처리 결과전시는 R-V Matrix 전시 기능과 비슷하며, 데이터를 비교하면 분석 시 아주 유용하게 쓰일 수 있다. 신호처리 결과는 2차원의 R-V matrix 뿐만 아니라 3차원으로 전시되고, V-A(속도-신호크기) 및 R-A(거리-신호크기) 그래프 또한 전시된다. R-V Matrix와 쉽게 비교할 수 있도록 measurement zone, connected domain의 위치 및 adaptive threshold 또한 전시한다.

### 5. 다기능레이더 알고리즘 개선

개발된 데이터 획득 및 분석 장치를 이용하여 다기능레이더 시스템 알고리즘을 개선할 수 있었다. 본 논문에서는 그 중 두 가지만 소개한다.

첫째로, 클러터로 인한 과도한 Range Blank 발생 원인을 분석하여 클러터 대응능력을 개선하였다. 기존 알고리즘은 LFM 파형 사용 시 클러터로 인해 발생하는 오 표적을 방지하기 위해 Range Blank 방식을 사용한다<sup>(3~5)</sup>. 그러나 흐린 날씨에 Range Blank 영역이 과도하게 많아 미 관측 영역 증가가 문제로 대두된다.

Fig. 8은 거리-고도(R-H view)에서의 흐린 날씨에 측정된 Range Blank 분포를 보여준다. 방위각 360도의 Range Blank 데이터를 평균한 그림이다. 그림에서 알

수 있듯이 미 관측 영역이 널리 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 그림은 레이더에서의 측정된 구름 분포를 의미한다.

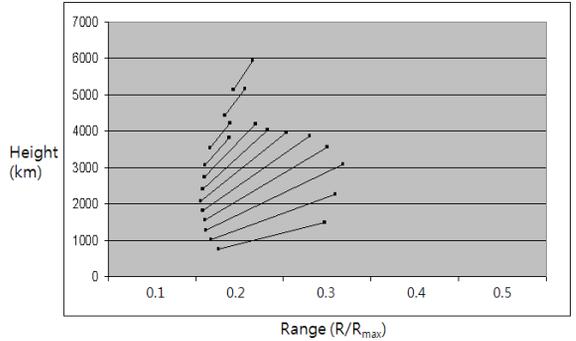


Fig. 8. 흐린 날씨의 Range Blank 분포

Fig. 9는 Range Blank의 시작 위치에 따른 분포를 보여준다. 정확한 측정을 위해 여러 시험을 통해 평균을 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 Range Blank는 거리가 가까운 곳에 많이 분포해 있다. 이것은 가까운 클러터일수록 레이더 수신신호에 영향을 많이 준다는 것을 의미한다.

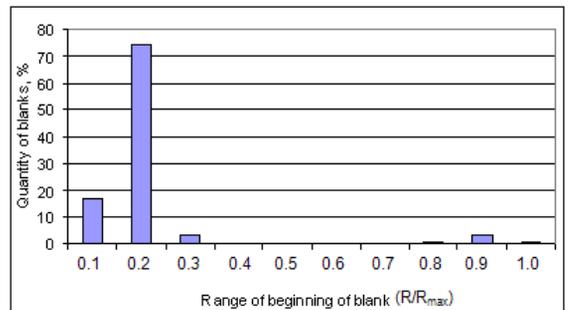


Fig. 9. Range Blank 시작 위치에 따른 분포

Range Blank 미 관측 영역을 해결하기 위해 Range Blank의 분포를 측정하여 LFM 파형을 PT 파형으로 변환한다. PT 파형은 클러터 제거 기능이 있기 때문이다<sup>(3~5)</sup>.

Fig. 10은 기존 파형변환(LFM→PT) 알고리즘을 보여준다. 기존 알고리즘은 파형변환 시 Range Blank의 분포를 측정할 때 거리에 가중치를 두지 않는다. 이것은 위 시험 결과인 가까운 클러터일수록 레이더 수신신호에 영향을 많이 준다는 것을 반영하지 못한다. 그

래서 Fig. 8에서 보듯이 Range Blank 영역이 많음에도 불구하고 PT 파형으로 전환하지 못하는 문제를 야기시킨다.

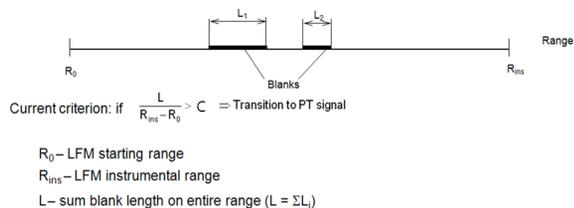


Fig. 10. 기존 파형변환(LFM→PT) 알고리즘

Fig. 11 개선된 파형변환(LFM→PT) 알고리즘을 보여준다. 파형변환 시 Range Blank의 분포를 측정할 때 거리에 가중치를 가진다. 가까운 거리의 Range Blank 발생 시 파형변환이 더 용이하게 하기 위함이다.

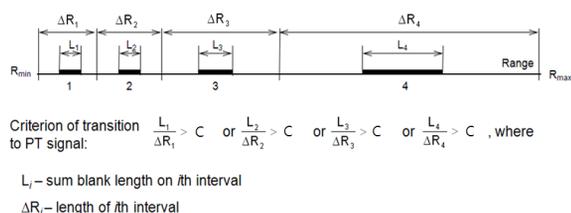


Fig. 11. 개선 파형변환(LFM→PT) 알고리즘

Table 1은 개선 알고리즘의 효과를 보여준다. Range Blank 수가 기존 알고리즘이 139개, 개선된 알고리즘이 33개로 미 관측 영역이 약 72% 줄어들었음을 의미한다.

Table 1. 개선 알고리즘 효과

	기존 알고리즘	개선 알고리즘
Range Blank 수 (미 관측 영역)	139개	33개

두 번째, 재머 환경에서 추적 성능을 개선하였다. 일반적으로 다기능레이더는 효율적인 자원관리를 위해 LFM 파형으로 탐지 시 PCM 파형으로 추적한다<sup>(3-5)</sup>.

Fig. 12는 기만 재머 환경에서 PCM 파형 추적이 손실된 걸 보여준다. 시험조건은 RGPO(Range Gate Pull Off) 시험이고, JSR은 20dB로 하였다. 그림을 보면 a 시점부터 재머가 동작하였고, b시점에서 재머 표적에서

실 표적으로 추적이 정상이 되었다. 그러나 c시점부터 다시 재머 표적으로 추적이 비정상인 것을 알 수 있다. 그리고 이상하게 b시점에서 SNR이 정상 SNR보다 약 4dB 정도 큰 것을 알 수가 있다.

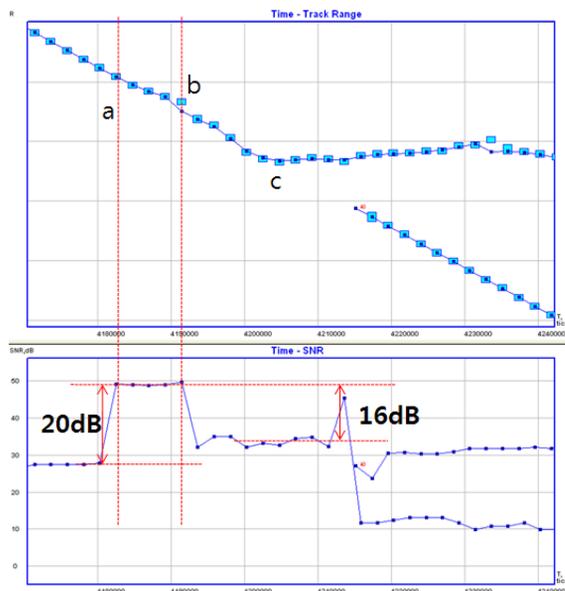


Fig. 12. PCM 파형 추적 손실

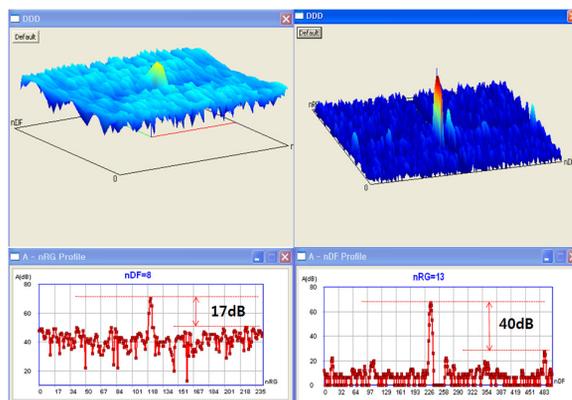


Fig. 13. 파형 특성(왼쪽 : PCM, 오른쪽 : PT)

이것은 단일 펄스인 PCM 파형의 특성 때문에 생긴 문제로 분석되었다. Fig. 13은 PCM 파형과 PT 파형의 primary data(신호처리기 출력)를 측정된 것이다. Fig. 13을 보면 알 수 있듯이 PCM 파형은 단일 파형이라서 side lobe level이 높은 것을 알 수 있다. 반면에 여러 펄스인 PT 파형은 side lobe level이 상당히 낮다는

것을 볼 수 있다. 이러한 특성으로 단일 펄스인 PCM 파형으로는 재머 환경에서 실 표적을 추적할 수 없다.

Fig. 14를 보면 쉽게 이해할 수 있다. 기만 재머 표적이 있을 경우 추적 Gate가 실 표적(Target)을 정확히 추적해도 실 표적 신호 level이 기만 재머 표적의 side lobe level 보다 낮기 때문에 실 표적을 더 이상 추적할 수 없다.

앞의 결과로 기존 알고리즘에서 PCM 파형으로 표적을 추적하는 경우 재머가 탐지되면 PCM 파형을 PT 파형으로 전환하는 알고리즘으로 개선하였다.

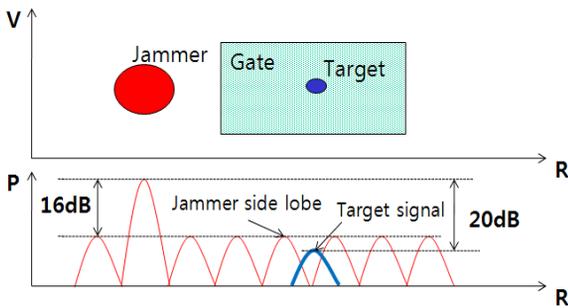


Fig. 14. PCM 파형 추적 상황(기만 재머)

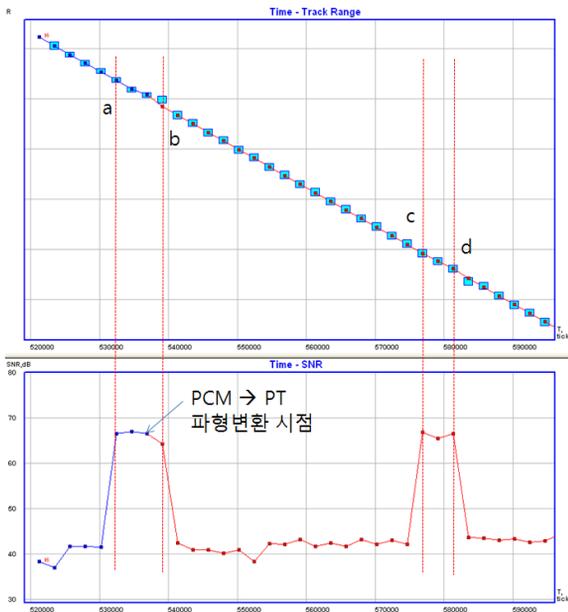


Fig. 15. 기만 재머 환경에서 실 표적 추적 유지

Fig. 15는 개선된 ECCM 알고리즘으로 시험한 결과이다. a시점부터 기만 재머가 동작하였고 곧 기만 재

머가 탐지되어 PCM 파형에서 PT 파형으로 파형 전환하였다(알고리즘 정상 동작). 그 후 b시점에 재머 표적에서 실 표적으로 추적이 정상 되었다. 그 이후 c시점부터 기만 재머가 다시 동작하였지만 d시점에 재머 표적에서 실 표적으로 추적이 정상 유지됨을 볼 수 있다. 그림에서 파란색은 PCM 파형이고 빨간색은 PT 파형이다. 이와 같이 ECCM 알고리즘을 개선하여 기만 재머 환경에서 실 표적을 추적 유지할 수 있었다.

## 6. 결론

본 논문은 다기능 레이더를 분석하기 위한 데이터 획득 및 분석 장치 개발에 대해서 기술하였다. 빔 방사 정보, 클러터맵 정보, 플랫폼 정보, 타겟 추적 정보, 유도탄 추적 정보, 신호처리 정보, 여러 장치들 간의 인터페이스 정보 등 여러 장치로부터 생성 및 처리되는 데이터를 분석을 위해서 정보들을 잘 통합하여 종합적인 분석을 위한 기술을 설명하였다. 데이터 분석 중 가장 중요한 것은 분석을 요하는 시점(문제가 발생한 시점)의 여러 정보들을 한눈에 볼 수 있어야 한다는 것이다. 이 장치를 이용하면 문제가 발생한 시점의 데이터를 별다른 가공 없이 한 번에 여러 정보들을 통합적으로 볼 수 있다. 이것은 통합된 데이터의 종합적인 분석으로 직관적인 분석이 가능하게 하는 아주 큰 장점을 제공한다. 이런 장점을 이용하여 다기능레이더 시스템 알고리즘을 개선하였다. Range blank 파형변환 알고리즘을 개선하여 미관측 영역을 약 72% 줄였고, 재머 대응 알고리즘을 개선하여 기만 재머 환경에서의 실 표적을 추적유지할 수 있었다.

## Reference

- [1] David K. Barton, Radar System Analysis and Modeling, Artech House, 2005.
- [2] Merrill Skolnik, Radar Handbook 3rd Edition, Mc Graw Hill, 2008.
- [3] 홍동희, 박성철, 이성용, "M-SAM용 다기능레이더 통제기(개념연구결과)", 국방과학연구소, MADC-516-020087, 2002.

[4] 홍동희, 김진호, 박성철, 이승만, 이성용, 박상석, “M-SAM용 다기능레이더 체계설계 보고서(개념연구결과)”, 국방과학연구소, MADC-516-010763, 2001.

[5] 홍동희, 김진호, 박성철, 이승만, 이성용, 박상석, “M-SAM용 다기능레이더 시뮬레이션 모델(개념연구결과)”, 국방과학연구소, MADC-516-010762, 2001.