

저피탐 표적 탐지 레이다를 위한 이동 표적 거리 고해상도 처리 기법

손 제 경*

Moving Target High Range Resolution Method for Low Observable Target Detection Radar

Jegyung Son*

요 약

저피탐 표적 탐지를 위해서는 레이다의 강한 출력과 높은 수준의 오폭적 제거 능력이 필요하다. 오폭적은 레이다의 한정된 자원을 소모하여 관심 표적의 탐지를 방해하기 때문에 이를 효과적으로 제거하는 탐지 기법이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 저피탐 이동 표적의 탐지를 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안 방법은 간단한 정지 표적 제거 기법과 거리 고해상도 처리 기법을 조합하여 클러터 및 비관심 정지 표적을 제거하고 이동 표적의 신호대 클러터 비를 증가시킨다. 이후 표적의 고해상도 거리 영상에서의 형태 식별 과정을 거쳐 선별적인 표적 탐지 기능을 제공한다. 제안 방법을 검증하기 위해 해상 환경을 모사한 신호를 사용하였고, 실험 결과에서 제안 방법이 효과적인 저피탐 이동 표적의 탐지가 가능함을 증명하였다.

Abstract

For detection of low observable target, high power and false target removal capability of radar are required. Since false targets consume limited resources of the radar and hinder the detection of targets of interest, a detection technique that effectively removes them is required. To this end, in this paper, we propose a new method for detecting low observable moving targets. The proposed method removes clutter and non-interest stationary targets and increases the signal-to-clutter ratio of the moving target by combining a simple stationary target removal technique and a high range resolution processing technique. Afterwards, it provides selective target detection function by identifying shape from the high resolution range image of target. To verify the effectiveness of the proposed method, a signal simulating the sea environment is used, and the experimental results prove that the proposed method can effectively detect low observable moving targets.

Keywords

low observable target detection, low rcs target detection, moving target indication, high resolution range profile

* 국방과학연구소 국방첨단과학기술연구원
레이다전자전기기술센터
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8153-1518>

• Received: Mar. 09, 2023, Revised: Apr. 03, 2023, Accepted: Apr. 06, 2023
• Corresponding Author: Jegyung Son
Agency for Defense Development, Yuseong P.O.Box 35, Daejeon, 34186
Tel: +82-42-821-3308, Email: jgs@add.re.kr

I. 서 론

레이더는 전파를 송수신하여 특정 물체의 탐지와 거리정보 추출을 목적으로 하는 기술이다. 국방 분야에서는 일찍이 항공기 탐지를 위한 방공 시스템 구축에 레이더를 사용하였고 이러한 시스템은 꾸준하게 그리고 형태를 다양화하며 발전하여 차량, 선박, 특정 건물, 소형 물체 등의 탐지를 수행하고 있고 나아가 Synthetic Aperture Radar 기법을 이용한 목표 지역의 영상형성까지 가능하게 되었다[1]. 이렇듯 다양한 목적에 대해 우수한 성능을 보이는 레이더이지만 난항을 겪고 있는 분야가 있으니 바로 저피탐 표적의 탐지이다.

저피탐 표적이란 탐지가 힘든 특성을 가진 표적을 일컫는 말이다. 표적의 크기가 매우 작거나, 스텔스 형상(또는 기술)에 의해 레이더로 반사되어 돌아오는 전파의 크기가 작거나 또는 표적 신호가 주변 환경 신호 보다 월등히 작기 때문에 레이더가 탐지하기 힘든 표적 등이 저피탐 표적에 해당한다. 이러한 저피탐 표적은 상기 명시한 이유에 의해 본질적으로 레이더 탐지가 쉽지 않고 따라서 국가 안보에 큰 위협이 된다. 일례로 2019년 삼척항 목선 귀순 사건에서는 북한 어민들이 목선을 타고 남한으로의 탈북을 시도했는데 이때 우리 군의 감시 자산은 작은 RCS(Radar Cross Section)를 갖는 목선을 탐지하지 못한 것으로 보도됐다. 또 다른 예로 2017년, 2022년 북한 무인기 대한민국 영공 침범 사건 때도 변칙적인 속도와 작은 RCS를 갖는 무인기의 탐지 및 추적이 어려웠던 것으로 보도된 바 있다.

저피탐 표적과 같이 RCS가 작은 표적을 탐지하기 위한 가장 보편적인 방법은 레이더의 출력과 이득을 증폭시키는 것이다. 하지만 이러한 방법은 비관심 표적과 클러터 신호마저 증폭시키므로 목표하는 특정 표적 탐지 임무에 있어서 충분 조건이 될 수 없다. 또 다른 방법으로는 MPRF(Medium Pulse Repetition Frequency) 파형과 FFT(Fast Fourier Transform)을 이용한 도플러 처리가 있다[2]. 도플러 처리를 수행하면 속도 정보를 얻을 수 있기 때문에 표적과 클러터 신호가 분리되며 동기 누적에 따른 SNR(Signal to Noise Ratio)가 개선되기 때문에 미약

한 신호라도 식별하여 탐지할 수 있다. 도플러 처리는 표적의 속도 정보 제공과 SNR을 개선 시켜 주는 이점이 있지만 해당 표적이 어떤 표적인지 분별할 특징 정보는 제공하지 않기 때문에 수많은 오탐지를 동반하지 않고는 저피탐 표적 탐지를 수행할 수 없다는 한계를 가진다.

상기 언급한 저피탐 표적 탐지의 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 클러터 제거에 사용되는 MTI(Moving Target Indicator)[3][4] 기법과 거리 방향 고해상도 정보 획득에 사용되는 고해상도처리(High Resolution Range Profile)[5] 기법을 융합하여 저피탐 표적 탐지를 수행하는 방법을 제안한다. 2장에서는 제안하는 방법에 대해 설명하고 3장에서는 제안 방법의 검증에 대한 시뮬레이션 구성에 대해 설명한다. 이어서 4장에서는 시뮬레이션 결과를 요약하고 마지막 5장에서 결론으로 논문을 끝맺는다.

II. 제안 방법

2.1 MTI 처리

MTI 처리는 이동 표적의 탐지를 위해 클러터와 같은 고정 신호의 제거 목적으로 사용된다. 레이더가 다중 펄스를 사용해서 표적을 탐지한다고 했을 때 첫 번째 송수신한 신호를 $p_1(t)$, 두 번째 송수신한 신호를 $p_2(t)$ 그리고 n 번째 송수신한 신호는 $p_n(t)$ 로 표현한다. 하나의 설계 파형을 사용한다면 $p_1(t)$ 와 $p_2(t)$ 는 동일한 신호이고 송수신한 시간 차이만 존재하기 때문에 식 (1)과 같이 표현된다. 이때 pri 는 PRI(Pulse Repetition Interval)을 의미한다.

$$p_2(t) = p_1(t - pri) \quad (1)$$

두 개의 신호 $p_1(t)$ 와 $p_2(t)$ 를 이용한 MTI 처리는 식 (2)와 같이 표현되며 이는 Two-pulse canceller라고 통용된다. $p_{mti}(t)$ 는 MTI 처리가 된 신호를 의미한다.

$$p_{mti}(t) = p_1(t) - p_2(t) = p_1(t) - p_1(t - pri) \quad (2)$$

MTI 처리의 정지 신호 제거 원리는 주파수 응답에서 확인되기 때문에 식 (2)의 Fourier transform 형태인 식 (3)을 아래와 같이 나타낸다.

$$P_{mti}(f) = P_1(f) \times (1 - e^{j2\pi f pri}) \quad (3)$$

그림 1에는 MTI 처리의 주파수 응답을 나타내었다. Three-pulse canceller라 통용되는 세 개의 신호를 이용한 MTI 처리 주파수 응답도 함께 나타내었는데 Two-pulse canceller와 개념은 동일하므로 식 (4)와 같이 기본 식만 나타내며 보다 자세한 유도 과정은 생략한다. 그림 1의 속도 값은 $pri = 2ms$ 를 사용하는 S밴드 레이더의 경우이다.

그림 1에서 표현되듯 MTI 처리는 저속 신호와 25m/s 근처의 신호를 제거하고 중간 속도의 신호는 제거하지 않는 Band pass filter처럼 동작한다. 이러한 특성을 적절한 파라미터 설정으로 조절해주면 정지해있는 클러터 신호와 비관심 표적의 제거에 효율적으로 활용할 수 있다. 25m/s 단위의 속도를 갖는 표적 신호도 제거되는 Blind velocity 문제도 내포하고 있지만, 이는 PRF Staggering[6] 등의 방법을 통해 극복 가능하다. 본 논문에서는 저속 클러터의 효율적 제거를 위해 보다 급격한 응답 전이 특성을 갖는 Three-pulse canceller를 제안 방법의 MTI 처리 기법으로 사용한다. 보다 자세한 MTI 처리 적용 방법은 2.3 절에서 설명한다.

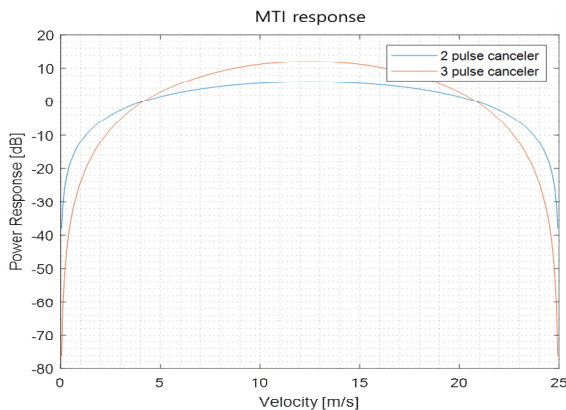


그림 1. MTI 처리 주파수 응답
Fig. 1. Frequency response of MTI process

$$p_{mti} = p_1 - p_2 - (p_2 - p_3) \quad (4)$$

2.2 고해상도 처리

고해상도 처리는 레이더 시스템의 한정된 거리 해상도를 극복해서 보다 우수한 거리 분해능을 얻기 위해 제안된 방법이다.

레이더의 대역폭이 bw 로 고정되어 있다면 거리 해상도 R_{res} 는 식 (5)와 같다. 이때 c 는 빛의 속도이다.

$$R_{res} = \frac{c}{2bw} \quad (5)$$

고해상도 처리는 다중 펄스를 사용하되, 각 펄스의 대역 중심 주파수를 특정 크기 f_{step} 만큼 증가시켜 송수신 함으로써 마치 레이더의 대역폭이 늘어난 것과 같은 효과를 얻게 되는 방법이다. 사용된 펄스 개수가 N_p 라고 했을 때 개선된 거리 해상도 R'_{res} 는 식 (6)과 같다.

$$R'_{res} = \frac{c}{2N_p f_{step}} \quad (6)$$

중심 주파수를 증가시켜 수신된 신호는 식 (7)과 같다. 이때 tp 는 펄스폭, td 는 시간 지연, f_c 는 중심 주파수를 나타낸다.

$$p_n(t) = e^{j\pi \frac{bw}{tp}(t-td)^2} e^{j2\pi f_c td} e^{j2\pi n f_{step}(t-td)} \quad (7)$$

식 (7) 우측 첫 번째 항은 LFM(Linear Frequency Modulation) 파형을 나타내고 두 번째 항은 시간 지연에 따른 위상 변화를 그리고 마지막 항은 증가된 주파수에 따른 위상 변화를 나타낸다. 거리 해상도가 개선되는 과정은 주파수가 변화하는 수신신호에 대한 IFT(Inverse Fourier Transform) 과정으로 식 (8)과 같다. 이때 $p(f, t)$ 는 $p_1(t), \dots, p_n(t)$ 수신 신호를 주파수 순서대로 나열한 신호 묶음이다.

$$p_{hrrp}(\tau, t) = \int_{f=f_{step}}^{N_p f_{step}} p(f, t) e^{j2\pi \tau f} df \quad (8)$$

상기의 과정은 그림 2에 보다 간결히 나타난다. 각 파란색 네모박스는 해당 좌표에서의 신호를 의미한다.

본 논문에서는 고해상도 처리의 특성을 관심 표적의 식별에 활용한다. 표적은 수많은 산란점(Scatterer)으로 구성되어 레이더 전파를 반사하게 된다. 이렇게 반사된 신호는 시간 순서대로 레이더에 돌아가게 되는데 30~60m의 거리 해상도를 갖는 일반적인 레이더는 짧은 시간 동안 순서대로 수신된 표적의 여러 신호를 분해할 수 없으므로 하나의 단일 Scatterer 신호처럼 인지하게 된다. 이러한 레이더에서는 1m의 표적이든 10m의 표적이든 하나의 점 표적으로 식별하게 되고 표적이 어떤 물체인지는 구별할 수 없게 된다. 이와 반대로 고해상도 처리를 사용하는 레이더는 아주 높은 거리 해상도로 표적 신호를 분해할 수 있으므로 표적의 길이와 대략적인 형태의 식별이 가능하게 되고 이를 기반으로 관심 표적 여부를 판별할 수 있게 된다.

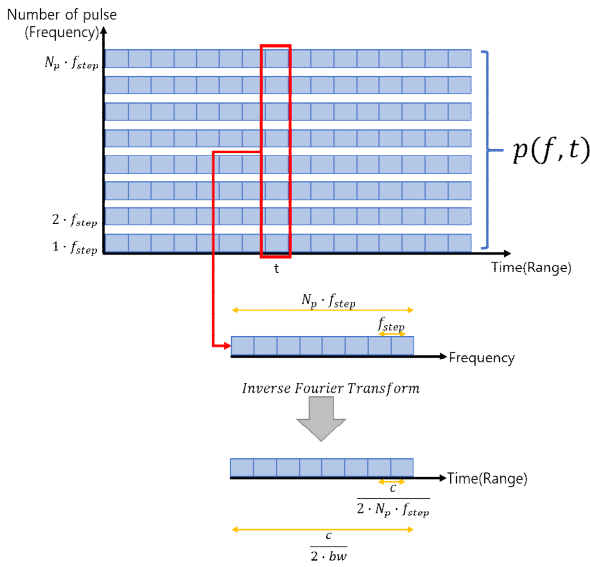


그림 2. 고해상도 처리 과정
Fig. 2. Process of high resolution range profile

2.3 이동 표적 거리 고해상도 처리

제안 방법은 소형 저피탐 이동 표적의 탐지를 목적으로 한다. 크기가 크고 RCS가 큰 신호는 다른 레이더에서 쉽게 탐지하기 때문에 관심 표적에서 제외한다.

이러한 목적하에 고해상도 처리는 제안 방법의 기본 구성 요소가 된다. 앞서 2.2절에서 언급했듯이 표적의 크기(길이) 정보는 해당 표적이 어떠한 표적 인지에 대한 힌트를 제공하기 때문에 관심 표적과 비관심 표적의 구분에 유용하다.

또 하나의 핵심 구성 요소는 MTI 처리이다. 저피탐 표적의 탐지를 위해 레이더는 강한 출력을 사용해야 하는데 이때 클러터 신호와 비관심 표적의 신호 또한 강하게 수신되기 때문에 무수히 많은 오탐지가 발생한다. MTI 처리는 이러한 신호들의 제거에 유용하다.

하지만 고해상도 처리와 MTI 처리는 함께 사용할 수 없다. MTI 처리는 $p_1(t)$ 신호와 $p_2(t)$ 신호가 동일해야 하는데 고해상도 처리를 위해서는 두 신호의 주파수가 달라져야 하기 때문이다.

이를 극복하기 위해 그림 3과 같은 파형 운용 구조를 제안한다.

그림 3은 그림 2에서의 수신 신호 구조가 한 차원 더 확장된 형식으로 새로 확장된 차원은 여러 신호의 송수신을 수행한다는 의미의 버스트(Burst)에서 따와서 버스트 축으로 정의한다. 파란색 네모 박스는 신호 운용에 따라 각 좌표에서 수신된 신호를 의미한다.

그림 3에서 고해상도 처리를 위한 첫 번째 신호 세트(버스트)는 $p_1(f, t)$ 로 정의한다. 그리고 MTI 처리를 위해 추가로 송수신한 $p_2(f, t)$ 신호는 $p_1(f, t)$ 와 식 (9)와 같은 관계를 가진다.

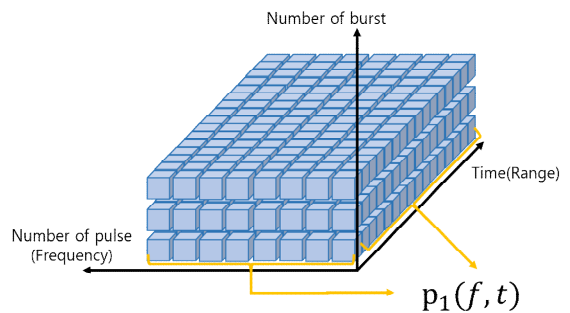


그림 3. 이동 표적 거리 고해상도 처리 신호 구조
Fig. 3. Signal structure of moving target high range resolution

$$p_2(f, t) = p_1(f, t - N_p p r_i) \tag{9}$$

식 (1)과 비교하여 한 버스트 송수신 펄스 개수 (N_p) 만큼의 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이때 식에서 확인 가능하듯 p_1 신호와 p_2 신호의 주파수 세트는 동일해야 한다.

Three-pulse canceller를 사용하기 위해 $p_3(f, t)$ 까지 송수신 하고 MTI 처리를 수행하면 식 (10)과 같이 나타난다.

$$p_{mti}(f, t) = p_1(f, t) - p_2(f, t) - (p_2(f, t) - p_3(f, t)) \quad (10)$$

식 (10)에 고해상도 처리를 적용하면 최종적으로 식 (11)과 같이 나타나며 본 논문에서는 식 (11)의 신호를 이용해 탐지를 수행하는 기법을 이동 표적 거리 고해상도 처리로 명명한다.

$$p_{mthrrp}(\tau, t) = \int_{f=f_{step}}^{N_p f_{step}} p_{mti}(f, t) e^{j2\pi\tau f} df \quad (11)$$

이동 표적 거리 고해상도 처리를 사용하면 레이다 수신신호에서 저속 표적 및 정지 클러터 신호가 대부분 제거되기 때문에 오탐지 발생 확률이 현저하게 줄어들게 된다. 또한 탐지된 표적들에 대해 고해상도 처리를 통한 표적 식별을 수행할때 MTI에 의해 신호대 클러터 비가 개선되었으므로 더 선명한 영상을 형성할 수 있게 된다.

이렇듯 이동 표적 거리 고해상도 처리는 오탐지 감소와 표적 식별 능력으로 인해 특정 표적을 목표로 하는 임무에 레이다를 최적화할 수 있다.

III. 시뮬레이션 구성

제안 방법의 검증을 위해 모의 신호를 생성하여 표적 탐지를 수행하는 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 모의 신호는 해상에서의 소형 선박 탐지를 가정하여 생성했고 신호 생성과 제안 방법의 구현에 필요한 레이다 운용 파라미터는 표 1에 나타난다.

표적 신호는 3개의 관심 표적과 7개의 비관심 표적으로 구분하여 생성하는데 상세한 정보는 표 2에 나타난다. 진한 색으로 강조된 부분이 관심 표적에 대한 정보이다.

표 1. 레이다 운용 파라미터

Table 1. Radar operation parameter

Parameter	Value	Parameter	Value
Altitude	40 m	Step frequency (f_{step})	12 MHz
Velocity	0 m/s	Bandwidth	12 MHz
Center frequency	S band	Number of pulse	15
PRI	200 us	Number of burst	3
Pulse width	20 us		

표 2. 표적 정보

Table 2. Target information

Number	Range [km]	Velocity [m/s]	RCS [m ²]	Length [m]
1	26	0	1000	1
2	18	32.5	500	1
3	6.5	0	200	1
4	8	1	20	1
5	8.2	-1	20	1
6	9	1.5	10	1
7	21	-15	100	6
8	16.5	-5	0.5	3
9	12	12	1	1
10	24	10	1	1

해상 클러터 신호는 정밀한 모의를 위해 Naval Research Laboratory에서 제안한 NRL 모델[7]을 사용하여 생성한다. NRL 모델은 해상에서 획득한 실제 신호 데이터를 기반으로 하여 실환경 신호와 유사한 신호를 생성할 수 있도록 제안된 근사식이다. 주파수, 편파, Sea State[8], 안테나와 클러터가 이루는 각(Grazing angle)을 변수로 사용하면 클러터의 Reflectivity를 계산할 수 있다. 편파는 수직 편파를 사용하고 Sea State는 약 6.7 m/s 약한 바람이 부는 level 3를 가정하였다.

모의한 표적 및 클러터 산란점들은 그림 4와 같이 표현된다. 그림 4에 확대 영역은 표 2에 표적 크기를 구현한 방식을 나타내고 있다.

최종적으로 그림 4의 산란점들을 이용해 생성한 모의 신호는 그림 5와 같다.

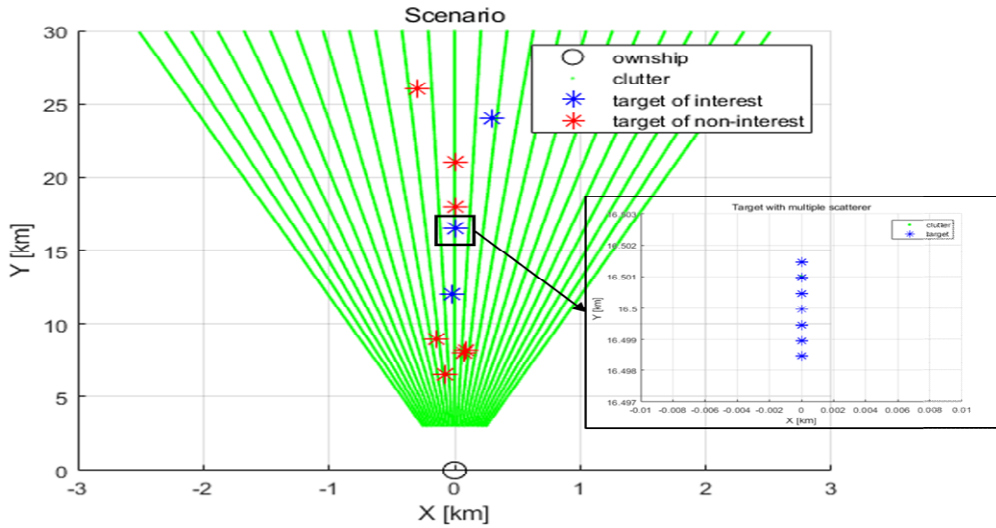


그림 4. 표적 및 클러터 산란점
Fig. 4. Target and clutter scatterer

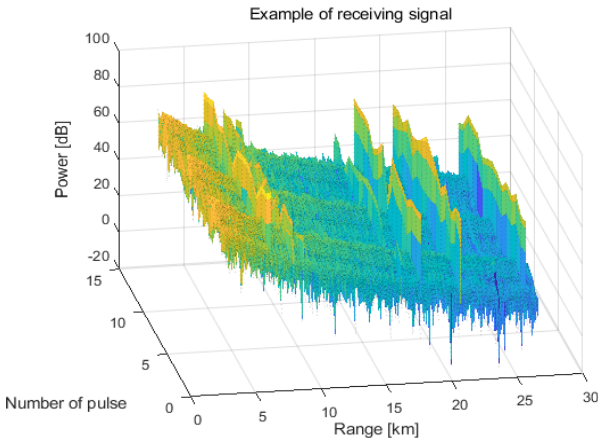


그림 5. 레이더 모의 신호
Fig. 5. Simulated radar signal

IV. 시뮬레이션 결과

3장에서 생성한 모의신호에 이동 표적 거리 고해상도 처리를 적용하고 CA-CFAR 탐지 알고리즘[9]을 수행한 결과를 그림 6에 나타내고 이동 표적 거리 고해상도 처리를 적용하지 않고 CA-CFAR 탐지 알고리즘을 수행한 결과를 그림 7에 나타낸다. CFAR에 대한 내용은 본 논문의 주제를 벗어나므로 별도의 설명은 생략한다.

그림 6과 그림 7의 결과를 비교해보면 우선 전체적인 클러터 신호 레벨이 10 dB 이상 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 저속으로 이동하는 해면 신호가([8]에 따라 평균 1.1m/s, 편차 0.74m/s) MTI 처리

에 의해 저감된 것이다. 클러터 신호가 크게 저감됨에 따라 기존 표적 신호들의 신호대 클러터 비가 개선됨을 확인할 수 있다. 이러한 신호대 클러터 비 개선 효과는 거리 고해상도 처리 단계에서 보다 선명한 영상 형성에 기여한다. 다음으로 그림에서 주황색 박스로 표현된 영역을 보면 제안 방법에 의해 저속 표적 신호가 감소되거나 제거된 결과를 확인할 수 있다. 이로 인해 기존에 비관심 표적 탐지에 의해 점유되던 시스템 자원을 관심 저피탐 표적 탐지에 할당할 수 있게 된다. 마지막으로 붉은색 박스로 표현된 영역을 보면 RCS가 매우 작아서 기존에 탐지되지 않던 관심 표적이 제안 방법 적용 이후에 성공적으로 탐지됨을 확인할 수 있다.

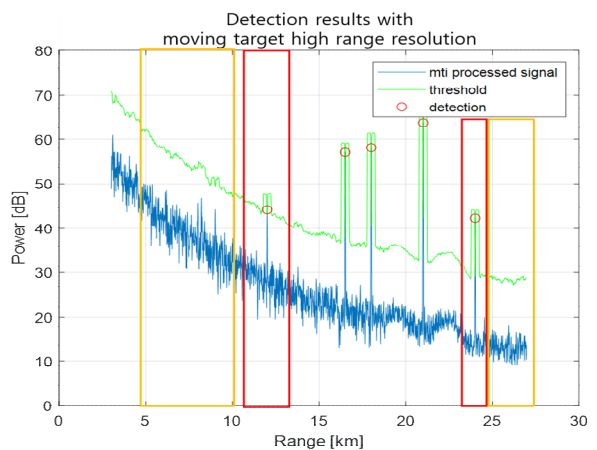


그림 6. 이동 표적 거리 고해상도 처리 탐지 결과
Fig. 6. Detection results with moving target high range resolution

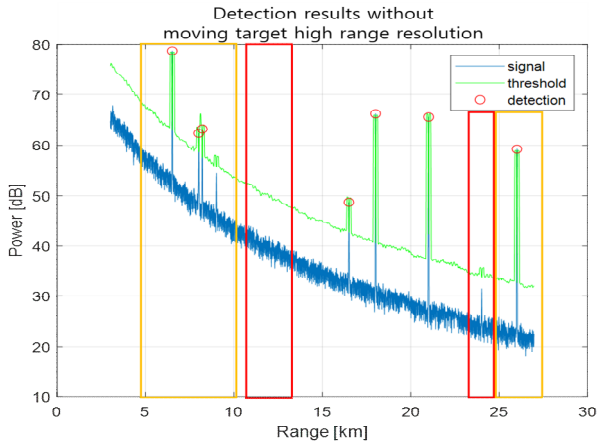


그림 7. 이동 표적 거리 고해상도 처리 미적용 탐지 결과
Fig. 7. Detection results without moving target high range resolution

이렇듯 저피탐 표적의 탐지를 위해 신호를 최적화시킨 이후에 관심 표적의 식별을 위한 고해상도 처리 결과를 확인한다. 그림 6에서 확인된 탐지 표적들의 고해상도 처리 결과는 그림 8에서 확인 가능하다. 왼쪽 위부터 시계 방향으로 (a), (b), (c)이고 각각 표 2의 1m, 3m, 6m 표적과 대응된다.

그림 8의 고해상도 처리 결과 영상에서 신호의

형태가 표적 크기에 따라 그려짐을 확인할 수 있다. 해상에서 소형 선박을 탐지한다고 할 때 바다 위에 떠 있는 부표 또는 파도 등은 그림 8(a)와 같이 spike 형태의 신호로 나타날 것이다. 이러한 오탐지 또는 비관심 표적은 제안 방법을 통해 제거 가능하다. 또한 현재 임무의 대상 표적 길이를 특정한다면 그림 8(b)의 2~3m 표적, 8(c)의 5~6m의 표적 등에 대한 선별 여부도 결정될 수 있다. 표적의 길이 정보를 획득할 때는 영상 내 최댓값을 갖는 위치를 기준으로 10dB가 감소되는 가장 근접한 위치를 찾으면 된다. 이때 10dB는 경험적 방법에 따라 결정된 수치이다.

시뮬레이션 결과에서는 양립 불가능한 두 개 기법이 효과적으로 조화되어 하나의 알고리즘으로서 성공적으로 동작함을 확인했다. 시뮬레이션으로 생성한 점표적(Point scatter) 형태의 표적 신호에 대해서도 높은 수준의 영상 형성이 가능하다면 무수한 scatterer를 가지는 실제 표적 신호는 더 정교하고 정확하게 거리 고해상도 영상에 표현될 것이라 예상되어 보다 높은 성능의 표적 탐지 및 식별이 가능할 것이다.

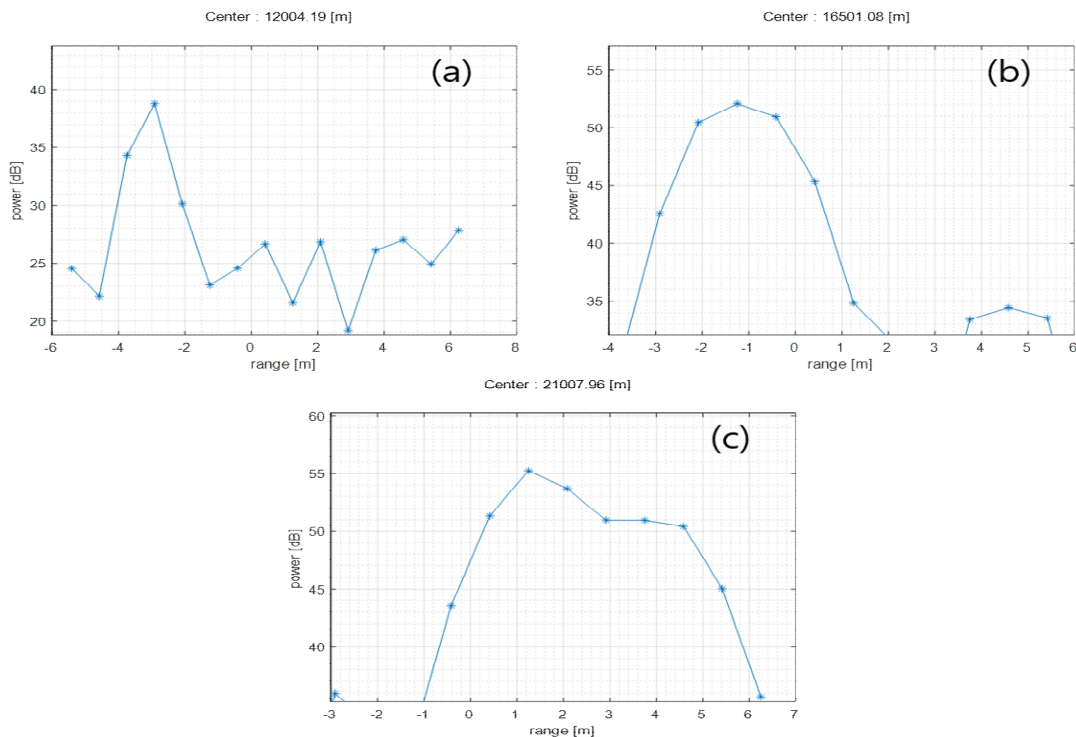


그림 8. 고해상도 처리 결과 영상
Fig. 8. Result image of high resolution range profile

V. 결 론

본 논문에서는 저피탐 이동 표적의 효과적인 탐지를 위한 이동 표적 거리 고해상도 처리 방법을 제안했다. 함께 사용이 불가한 MTI 처리와 고해상도 처리를 효과적으로 조화시킴으로써 고정 클러터 및 비관심 표적의 제거와 신호대 클러터 비 증가에 따른 선명한 거리 고해상도 영상 형성이 가능함을 입증하였다. 비관심 표적들은 신호 내에서 제거하고 거리 고해상도 영상에서 탐지된 표적의 크기에 따라 관심 표적 여부를 식별하는 방법론은 다양한 시스템의 목적에 따라 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

제안 방법은 클러터의 속도가 거의 없는 육상에서 더 나은 효과를 보여줄 것으로 예상되며 PRF staggering 등의 기법과 함께 사용하면 속도 영역에서의 blind region 없이 좋은 성능을 보여줄 것으로 판단된다. 단, PRI 및 펄스 개수에 따라 알고리즘의 동작 영역이 크게 달라지므로 목적에 맞게 설계자의 주의 깊은 설계가 필요하다.

References

- [1] J. A. Scheer and W. A. Holm, "Principles of modern radar", Raleigh, NC, USA: SciTech Pub, 2010. <https://doi.org/10.1049/SBRA021E>.
- [2] C. Alabaster, "Pulse Doppler Radar - Principles, Technology, Applications", NJ : Scitech Publishing, 2012. <https://doi.org/10.1049/SBRA024E>.
- [3] B. R. Mahafza, "Radar systems analysis and design using MATLAB", Chapman and Hall/CRC, 2013. <https://doi.org/10.1201/b14904>.
- [4] S. Hong, B. L. Cho, K. Yoon, K. S. Kim, and C. H. Kim, "A Study on Selective MTI to Reduce the Error of Velocity Estimation for MPRF Radar System", Journal of KIIT, Vol. 20, No. 4, pp. 81-87, Apr. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.4.81>.
- [5] A. Paulose, "High radar range resolution with the step frequency waveform", Naval Postgraduate

School, Monterey, California, Jun. 1994. <https://hdl.handle.net/10945/28262>.

- [6] R. J. McAulay, "The effect of staggered PRF's on MTI signal detection", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-9, No. 4, pp. 615-618, Jul. 1973. <https://doi.org/10.1109/taes.1973.309648>.
- [7] V. Gregers-Hansen and R. Mital, "An improved empirical model for radar sea clutter reflectivity", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 48, No. 4, pp. 3512-3524, Apr. 2012. <https://doi.org/10.21236/ada559494>.
- [8] D. K. Barton, "Radar system analysis and modeling", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 20, No. 4, pp. 23-25, Apr. 2005. <https://doi.org/10.1109/MAES.2005.1423386>.
- [9] P. P. Gandhi and A. K. Saleem, "Analysis of CFAR processors in nonhomogeneous background", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 24, No. 4, pp. 427-445, Jul. 1988. <https://doi.org/10.1109/7.7185>.

저자소개

손 제 경 (Jegyung Son)



2015년 2월 : 경북대학교
전자공학부(공학사)
2018년 2월 : 경북대학교
전자공학부(공학석사)
2018년 6월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원
관심분야 : 레이더 신호처리,
레이더 성능분석