

항공기 탐재 레이더의 근접 표적 분리를 위한 모노펄스 기반 탐지 방법 연구

김소연*¹, 정태희*², 조병래*³

A Study on a Monopulse-based Detection Method for the Separation of Range-Adjacent Targets in Airborne Surveillance Radar

So-Yeon Kim*¹, Taehee Jeong*², and Byunglae Cho*³

This work was supported by the Agency for Defense Development grant funded by the Korean government

요 약

레이더 시스템에서 근접한 다수의 표적을 정확히 분리하여 탐지하는 것은 감시정찰 등 다양한 분야에서 핵심적인 요구사항이다. 레이더 시스템의 특성상 iso-range 표적이 있고, 편대로 비행하거나 밀집하여 위치하는 등 특정 상황이 유지되는 인접한 표적이 존재할 수 있다. 이러한 경우 여러 개의 표적이 하나의 표적으로 탐지될 수 있으며 탐지 정확도가 저하되거나 오경보가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 연속된 셀에서 SNR(Signal to Noise Ratio) 및 모노펄스의 방위각, 고각을 이용하여 특성이 다른 표적을 분리하는 수식을 제안하여 복잡한 연산 없이 거리가 인접하지만 각도가 다른 근접 표적을 분리하여 탐지할 수 있는 방법을 연구하였다. 연구 결과를 통해 표적을 분리하여 거리 오차를 개선하였고, 실제 레이더 시스템 환경에서의 적용 가능성을 입증하였다.

Abstract

The ability of a radar system to accurately resolve and detect multiple closely spaced targets is a critical requirement in various application domains, including surveillance and reconnaissance. Radar system have iso-range targets and it is common to encounter several nearby targets arranged in regular patterns, such as in formation flight or swarm targets. In such cases, multiple targets may be clustered together and detected as a single target, which can lead to degraded detection accuracy or increased false alarms. This study proposes a formula that utilizes the Signal to Noise Ratio (SNR) and the azimuth and elevation angles obtained from monopulse radar across adjacent cells to separate targets with different characteristics. This approach enables the separation and detection of targets that are closely spaced in range but differ in angle, without complex computations. The results show that target improves range error, and the applicability of the proposed method was validated in a real radar system environment.

Keywords

monopulse radar, multiple target detection, target clustering, radar signal processing, airborne surveillance radar

* 국방과학연구소 3기술연구원 4부(*² 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-2424-0095>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-6427-8410>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-9160-3362>

· Received: Jul. 02, 2025, Revised: Aug. 18, 2025, Accepted: Aug. 21, 2025
· Corresponding Author: Taehee Jeong
4th Directorate, 3rd R&D Institute, Agency for Defense Development
(ADD), Daejeon, Republic of Korea
Tel.: +82-42-821-2363, Email: taehee@add.re.kr

1. 서 론

레이더 시스템에서 근접한 다수의 표적을 정확히 분리하여 탐지하는 것은 감시정찰, 자율주행 등 다양한 응용 분야에서 핵심적인 요구사항이다. 특히 전장 환경이나 도시 환경에서는 복잡한 상황 인식이 필수적이므로 다수의 표적이 동시에 존재하는 상황에서 높은 수준의 분해능과 정밀한 탐지 기능이 요구된다. 레이더 시스템의 특성상 iso-range에 위치하는 표적이 존재할 수 있고, 다수의 표적이 하나의 신호로 군집화되어 탐지되는 경우가 발생할 수 있다. 이는 군집 드론이나 편대를 이루어 일정한 간격을 유지하며 이동하는 표적들처럼, 특정한 규칙적 상황이 지속되는 군용 또는 민간 상황에서 나타날 수 있는 시나리오다. 이러한 환경에서는 서로 다른 다수의 표적이 하나의 클러스터로 군집화되어 탐지될 수 있고, 하나의 강한 반사체로 오인되어 시스템의 탐지 정확도를 저하시킬 수 있는 위험성이 있다. 결과적으로 이는 오경보 및 미탐지를 발생시키며 고밀도 항공기 편대와 같은 표적 식별의 실패, 추적 성능의 저하로 이어질 수 있고, 실제 운용 환경에서의 시스템 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 따라서 근접 표적에 대한 강인한 탐지 및 표적 분리는 반드시 해결해야 할 중요한 연구 과제 중 하나이다.

근접 표적을 분리하여 탐지하기 위해서 지금까지 다양한 연구가 진행되었다. 거리-도플러 클러스터링 방법을 사용한 인접한 표적 분리 연구[1]에서는 하나의 표적으로 탐지된 인접한 표적을 분리하기 위해 거리 및 도플러 방향으로 이중 클러스터링을 하는 방안을 제안하였다. 편대비행 표적 분리 탐지를 위한 연구[2]에서는 모노펄스를 이용한 클러스터링 방안을 제안하였다. 인접한 hit에서 모노펄스 값이 일정값 이상일 경우에 대해 클러스터를 분리하는 방안에 대한 연구이다. 항공기 레이더에서 밀집 표적 탐지를 위한 파형과 표적탐지 신호처리 설계 연구[3]에서는 밀집 표적만을 탐지하기 위한 특정 모드에 대한 설계를 수행하였다. 이처럼 기존 연구에서는 움직이는 표적만을 대상으로 하여 표적의 도플러 정보를 이용해야 하거나[1]-[3], 밀집 표적만을 대상으로 하여 특정 파형을 사용하여야 한다[3]는

제한이 있다. 지상 클러스터 신호 분리를 위해 최근 진행된 hit clustering 알고리즘 연구[4]에서는 고정된 표적을 대상으로 하여 지상 클러스터와 거리가 가까울 경우 군집화된 신호를 분리하기 위한 연구를 수행하였으나, 사용자 및 시스템에서 지정한 표적의 거리 정보가 필요하다는 제약이 있다. 최근에는 소형 표적 탐지에 대한 관심이 높아지며 근접한 표적을 분리하는 것에 대한 중요성이 부각되었고[5], UWB(Ultra-WideBand) FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더를 이용한 인접 표적의 분리 및 영상화 연구가 진행되고 있다[6]. 표적들이 거리 및 방위각 정보만으로는 분리되지 않는 경우에 대해 이들의 운동 정보를 활용하여 표적을 분리하고, ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상을 생성하는 방법에 관한 연구이다. 또한 군집 표적(Swarm targets)을 분리 탐지하기 위해 CLEAN 알고리즘[7]을 적용한 연구[8]가 진행되었다. 그러나 이러한 연구들은 상대적으로 높은 하드웨어 비용과 복잡한 연산이 필요하다는 단점이 있다. 신호처리 기술이 발달함에 따라 거리 분해능이 크게 향상되었음에도 거리가 매우 인접한 표적을 정확히 분리하여 탐지하는 데는 여전히 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 기존 기법들의 한계점을 극복하기 위해 거리가 인접하지만 방위각 또는 고각이 다른 근접한 다수의 표적을 분리하기 위해 모노펄스를 이용한 방법을 제안하였다. 연속된 셀에서 SNR(Signal to Noise Ratio) 및 모노펄스로부터 획득한 방위각, 고각을 이용하여 특성이 다른 표적을 분리하는 수식을 제안하여 복잡한 연산 없이도 거리가 인접하지만 각도가 다른 근접 표적을 분리하여 탐지할 수 있는 방법을 연구하였고, 실제 레이더 시스템 환경의 비행시험을 통해 제안한 탐지 기법의 유효성에 대해 검증하고자 한다.

본 논문에서 전개될 구성은 다음과 같다. II장에서는 모노펄스를 이용한 표적의 분리 탐지 방법을 제안하고, III장에서는 실제 항공기탐재 레이더의 비행시험을 통해 본 논문에서 제안한 모노펄스를 이용한 표적의 분리 탐지 방법의 유효성을 검증하고, IV장에서는 결론을 도출한다.

II. 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지

제안하는 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지 기법은 거리가 인접한 다수의 표적들이 군집화되어 1개로 탐지될 때 모노펄스를 이용하여 방위각 또는 고각이 다를 경우에 표적을 각각 분리하여 탐지할 수 있는 방법이다. 제안한 방법으로 표적의 오경보 및 미탐지 문제를 해결함으로써 탐지 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

제안하는 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지 방법에 대한 흐름도는 그림 1과 같다. 표적을 분리하기 위해서 우선, 표적이 단일 표적인지 다수의 표적이 병합된 경우인지를 판단한다. 단일 표적일 경우에는 본 연구에서 제안한 방법은 사용하지 않고, 표적이 병합된 경우라면 그림 1의 흐름도를 수행한다. 먼저, 병합 표적 여부는 CFAR(Constant False Alarm Rate)로 탐지된 표적 후보 셀로부터 다음 식 (1)의 LM(Local Maximum)의 개수를 계산한 후 판단한다. 여기서 r_i 는 i 번째 거리 셀의 power다. LM을 계산한 후 식 (2)를 만족하여 연속된 셀(hit)에서 LM의 개수가 1개 초과면 병합 표적으로 판단한다.

$$LM = r_i > r_{i-1} \text{ and } r_i \geq r_{i+1} \quad (1)$$

$$LM \text{의 개수} > 1 \quad (2)$$

식 (2)를 만족하여 병합 표적으로 판단되면 연속된 셀로부터 SNR, Δ 방위각, Δ 고각을 계산한다. 표적은 SNR이 크고, 빔 조향점에 위치하고 있으므로 Δ 방위각, Δ 고각이 0에 근접하다는 가정 하에 본 연구에서는 식 (3) 및 (4)를 제안하였다. 다만, 상대적으로 Δ 방위각의 표준편차가 Δ 고각의 표준편차보다 크므로 값을 같이 활용하기 위해서 Δ 방위각, Δ 고각 각각에 표준편차로 스케일을 보정해주었고, 최종적으로 제안한 식은 식 (5)로 정의한다. 각 값이 클수록 표적일 확률이 높아진다.

$$S_{az} = \frac{SNR}{\Delta \text{방위각} + \Delta \text{방위각 표준편차}} \quad (3)$$

$$S_{cl} = \frac{SNR}{\Delta \text{고각} + \Delta \text{고각 표준편차}} \quad (4)$$

$$\eta = S_{az} + S_{cl} \quad (5)$$

이때 Δu 는 식 (6) 및 (7), Δv 는 식 (8) 및 (9)의 모노펄스 관련 수식으로부터 획득하고, Δu , Δv 를 Δ 방위각, Δ 고각으로 변환하여 사용한다. 여기서 Σ 은 합 채널, Δ_{az} 는 방위각 방향 차 채널, Δ_{cl} 은 고각 방향 차 채널, A, B, C, D 는 모노펄스 계수, i, j 는 인덱스를 의미한다.

$$\Delta u = A_u x_u^3 + B_u x_u^2 + C_u x_u + D_u \quad (6)$$

$$x_u = \tan^{-1}(\text{imag}(\frac{\Delta_{az}(i, j)}{\Sigma(i, j)})) \quad (7)$$

$$\Delta v = A_v x_v^3 + B_v x_v^2 + C_v x_v + D_v \quad (8)$$

$$x_v = \tan^{-1}(\text{imag}(\frac{\Delta_{cl}(i, j)}{\Sigma(i, j)})) \quad (9)$$

식 (9)까지의 사전 계산이 완료되면 그림 1의 흐름도를 수행한다. 각 단계를 설명하면 다음과 같다. CFAR로 탐지된 연속한 셀의 표적을 hit_i 로 정의하고, 셀마다 식 (10), 식 (12)를 모두 만족하면 병합된 표적(연속한 셀)에서 분리(Cluster separation)하고 flag를 1씩 증가하며 새로운 flag를 부여한다. 식 (5)에서의 η_i 의 값이 클수록 표적일 가능성이 높으므로 식 (10)은 연속된 셀에서 평균 이상인 값을 판별하는 식이다. 여기서 α 는 scale factor로써 사용자의 필요에 따라 조정할 수 있는 값으로 통상적으로 0.5에서 1.5 사이의 값을 사용할 수 있다. 이 값은 사용자가 표적 분리 민감도에 따라 조정할 수 있고, 임계치를 높게 하여 표적을 엄격하게 분리하기 위해 크게 설정할 수 있다. 본 연구에서는 경험적으로 1.3으로 설정하였다. μ_γ 는 식 (11)에서 계산한다. 식 (12)는 η_i 값의 차이가 클수록 다른 특성의 표적일 가능성이 높으므로 연속된 셀의 차이($\eta_i - \eta_{i-1}$)가 표준편차 이상인 값을 판별하는 식이다. 여기서 β 는 scale factor이고, 사용자의 필요에 따라 조정할 수 있는 값

으로써 통상적으로 1.0에서 2.0 사이의 값을 사용할 수 있다. 이 값은 사용자가 다른 특성의 표적을 분리하는 민감도를 결정할 수 있도록 하며 표적의 특성 구분을 엄격하게 하기 위해 크게 설정할 수 있다. 본 연구에서는 경험적으로 1.5로 설정하였다. 식 (12)에 필요한 변수는 식 (13) 및 식 (14)로부터 계산한다. 식 (10) 및 식 (12) 조건을 만족하지 않으면 클러스터는 기존과 동일하게 병합되며 flag가 유지된다. 여기서 n 은 연속된 셀의 총 개수이다. 전체 hit_i 의 처리를 완료하면 흐름도는 종료한다.

$$\eta_i \geq \alpha \times \mu_\eta \tag{10}$$

$$\mu_\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \tag{11}$$

$$|\eta_i - \eta_{i-1}| \geq \beta \times \sigma_\eta \tag{12}$$

$$\sigma_\eta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (\eta_i - \eta_{i-1}) - \mu_{diff}}^2 \tag{13}$$

$$\mu_{diff} = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (\eta_i - \eta_{i-1}) \tag{14}$$

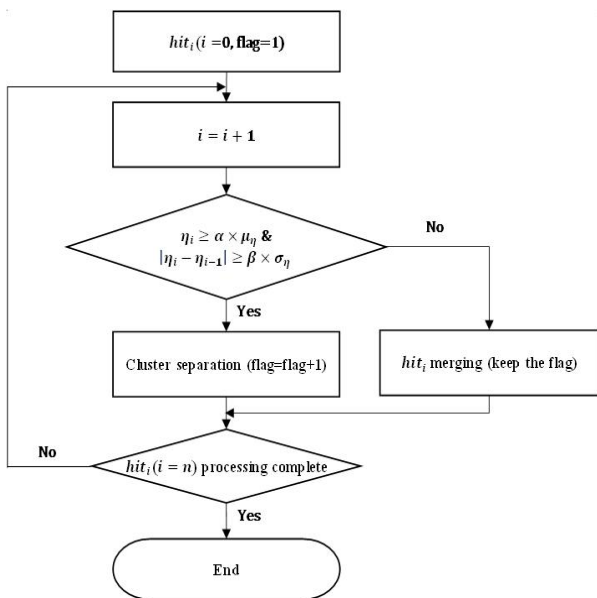


그림 1. 제안한 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지 방법 흐름도

Fig. 1. Flowchart of the proposed target separation detection method using monopulse radar

III. 비행시험을 통한 제안 기법의 유효성 검증

3.1 레이더 시스템 및 시험 항공기

레이더를 항공기에 탑재한 후 비행시험을 통해 데이터를 획득하였다. 데이터 획득을 위한 레이더 시스템 및 시험 항공기는 그림 2[9]와 같으며 AESA (Active Electronically Scanned Array) 레이더를 사용하였다. AESA 레이더는 전자주사를 통한 표적 탐지 및 추적을 수행하는 센서이고, 시험 항공기는 민간 항공기(B-737)를 개조한 것으로 노즈 부분에 레이더와 AESA 레이더를 장착하여 시험하였다. 이 시험 항공기는 항공기 운용환경에서의 비행시험을 통해 신뢰성 있는 AESA 레이더를 개발하기 위하여 개조된 것이다[10].



그림 2. 시험 항공기 및 레이더 시스템
Fig. 2. FTB and radar system

3.2 비행시험 파라미터 및 시나리오

본 논문에서 제안한 모노펄스를 이용한 탐지 기법의 유효성에 대해 검증하기 위하여 비행시험을 수행하였고, 비행시험 데이터 획득에 사용한 항공기 탑재 레이더의 주요 파라미터는 아래 표 1과 같다. 레이더는 X 대역 주파수를 사용하여 운용되며, PRF(Pulse Repetition Frequency)는 LPRF(Low PRF)를 사용하였다. 시험 항공기는 남아프리카공화국에서 운용하였고, 세부적인 시험 항공기의 위치와 안테나 빔 조향 영역을 그림 3의 위성지도[11] 상에 나타내었다.

표 1. 시험 레이더 관련 파라미터

Table 1. Parameters of the experimental radar

Parameter	Value
Frequency band	X-band
PRF	LPRF (< 800Hz)
Data collection date	August 2024
Position of radar	On the aircraft in the Republic of South Africa



그림 3. 시험 항공기의 위치와 안테나 빔 조향 영역
Fig. 3. Position of the FTB and antenna beam steering area

3.3 비행시험 데이터 분석



그림 4. 시험 표적과 거리가 인접한 기회표적의 위치
Fig. 4. Location of an opportunity target located near the test target(CR)

레이더 시스템을 시험 항공기에 탑재하여 비행시험을 수행하였다. 비행시험 데이터의 결과 검증을

위해 탐지 대상은 CR(Corner Reflector)로 하였다. CR은 넓고 평탄한 지역에 고정하여 설치하였고, 설치 위치 및 형상은 그림 4 위성지도[11] 상에 나타내었다. 그림 4에서 표적의 iso-range는 빨간색 선으로 표시하였고, iso-range 인근에는 기회표적(Opportunity target) 1번과 2번을 나타내었다.

비행시험으로 획득한 데이터에서 2개 case에 대해 제안한 탐지 기법의 유효성 검토를 수행하였다. 첫 번째 case에 대한 기존의 신호처리 결과는 그림 5와 같다. 빨간색 원이 CFAR 탐지 결과이고, 이후 클러스터링 과정을 통해 탐지된 최종 표적을 파란색 네모로 나타내었다. 그림 5에서 검정색 선으로 표시한 CR 1개와 인근의 기회표적(OT #1) 1개, 분리되어 CR과는 먼 거리에 위치하는 기회표적(OT #2) 1개, 총 3개의 표적이 탐지되어야 하지만 CR과 인근의 기회표적 1개가 병합되어 2개의 표적이 1개로 탐지되면서 탐지된 표적 개수는 총 2개이다. 이러한 경우 본 논문에서 제안한 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지 방법을 적용하여 각각의 표적을 분리하여 탐지할 수 있고, 그 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 파란색 네모가 최종 표적 탐지 결과로써 CR과 기회표적이 각각 다른 표적으로 탐지되며 예상대로 총 3개의 표적이 탐지되었다. 표적을 분리하여 탐지한 결과, 표적 개수가 늘어난 반면 표적의 거리 오차는 기존의 29.394m에서 제안한 방법을 적용했을 때 2.880m로 개선되어 표적의 정확도를 높일 수 있었다.

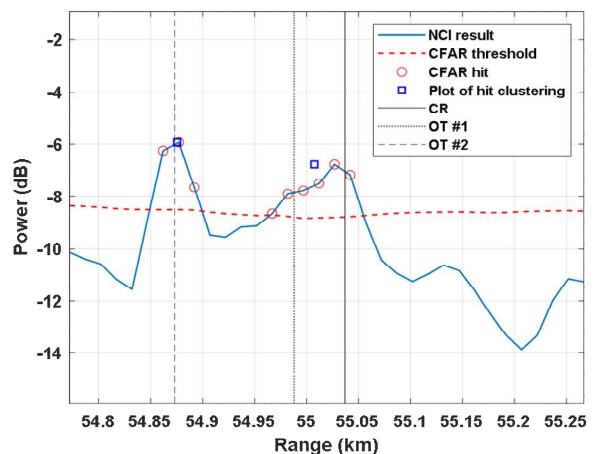


그림 5. 기존 표적 탐지 결과(Case #1)
Fig. 5. Target detection results of the conventional method(Case #1)

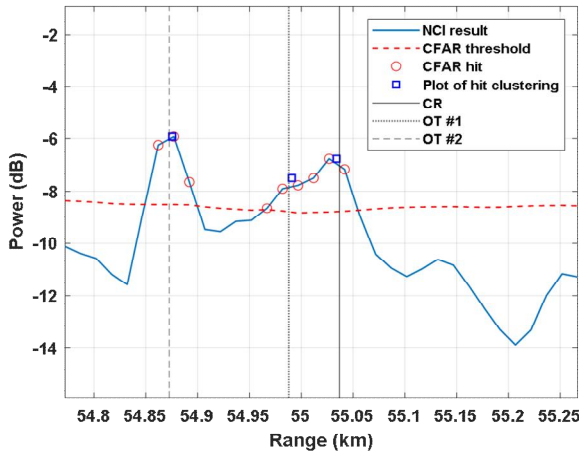


그림 6. 제안하는 방법을 적용한 표적 탐지 결과(Case #1)
Fig. 6. Proposed target detection results(Case #1)

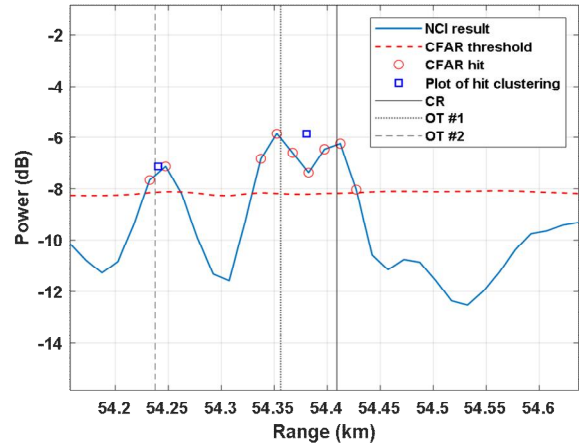


그림 7. 기존 방법의 표적 탐지 결과(Case #2)
Fig. 7. Target detection results of the conventional method(Case #2)

두 번째 case에 대한 기존의 신호처리 결과는 그림 7과 같다. 그림 7에서 검정색 선으로 표시한 CR 1개와 인근의 기회표적(OT #1) 1개, 분리되어 먼 거리에 위치하는 기회표적(OT #2) 1개, 총 3개의 표적이 탐지되어야 하지만 CR과 인근의 기회표적 1개가 병합되어 2개의 표적이 1개로 병합되어 탐지되면서 총 2개의 표적이 탐지되었다. 이러한 경우 제안한 모노펄스를 이용한 표적 분리 탐지 방법을 적용하여 각각의 표적을 분리하여 탐지할 수 있고, 그 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 파란색 네모가 최종 표적 탐지 결과로써 CR과 기회표적 각각이 다른 표적으로 탐지되어 예상대로 총 3개의 표적이 탐지되었다. 표적을 분리하여 탐지한 결과, 표적의 거리 오차는 기존의 28.625m에서 제안한 방법을 적용했을 때 1.590m로 개선되어 표적의 정확도를 높일 수 있었다. 두 개 case에 대해 거리 오차를 비교하여 요약한 결과는 표 2와 같고, 거리 오차 감소율은 평균 92.324%로 계산되었다. 감소율(r_d)은 식 (15)로부터 계산하였다. x_0 는 기존 방법에서의 거리 오차, x_1 는 제안한 방법을 적용했을 때의 거리 오차를 의미한다.

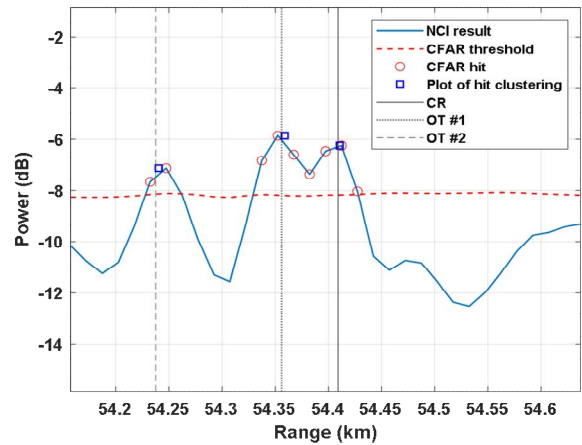


그림 8. 제안하는 방법을 적용한 표적 탐지 결과(Case #2)
Fig. 8. Proposed target detection results(Case #2)

표 2. 거리 오차 비교 결과

Table 2. Comparison of range error

Case number	Range error using the existing method (x_0) [m]	Range error using the proposed method (x_1) [m]	Decrease rate (r_d) [%]
1	29.394	2.880	90.202
2	28.625	1.590	94.445

$$r_d = \frac{(x_0 - x_1)}{x_0} \times 100 \quad (15)$$

본 논문에서 제안하는 탐지 기법에 대한 효과를 검증하기 위해 획득한 전체 데이터를 처리하였고, 그 결과는 그림 9 및 그림 10과 같다. 획득한 총 782개의 데이터를 처리하였고, 그 결과 기존 표적 탐지 결과의 RMSE(Root Mean Square Error)는 11.39m로 계산되었다. 같은 데이터에 대해 제안하

는 방법을 적용한 결과, RMSE가 8.49m로 약 2.9m 개선되었다. 특히 제안한 방법의 적용으로 인덱스 300번부터 400번 데이터 획득 구간에서 근접 표적이 분리 탐지되며 거리 오차가 개선되었다. 근접 표적으로 인해 특정 구간에서 표적의 거리 오차가 발생하면 추적 등의 후처리에서 성능 저하가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 적용할 경우 추적 성능의 개선도 기대할 수 있다.

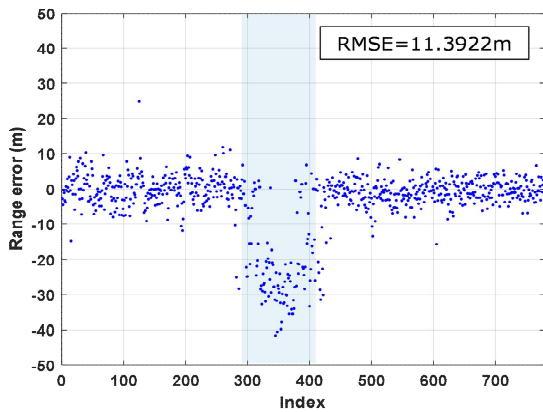


그림 9. 전체 데이터에 대한 기존 표적 탐지 결과
Fig. 9. Conventional target detection results for all data

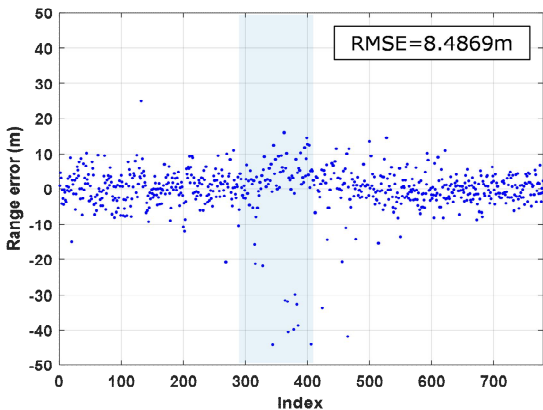


그림 10. 전체 데이터에 대해 제안하는 방법을 적용한 표적 탐지 결과
Fig. 10. Target detection results for all data using the proposed method

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 iso-range 상에서 거리가 인접한 표적이지만 방위각 또는 고각의 차이가 있는 근접 표적을 분리 탐지하는 방법을 연구하였다. 거리가 매우 인접하지만 방위각 또는 고각이 다른 다수의

표적들이 하나의 표적으로 탐지된 경우에 대해 모노펄스를 이용한 각도 정보를 이용하여 인접 거리 내의 복수 표적을 독립적으로 분리하여 탐지할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 탐지 기법을 사용하면 병합된 표적을 정확히 분리 탐지할 수 있어 표적의 오경보 및 미탐지 문제를 감소시킬 수 있고, 레이더 시스템의 성능 및 정확도를 향상시키는데 도움을 줄 수 있다. 도플러 효과 등을 이용한 기존 분리 방식은 정지한 표적이나 동일 속도로 이동하는 표적을 분리하는 데 한계가 있지만 본 연구는 속도와 무관하게 각도 차이만으로 정지된 표적 간의 분리가 가능하여 정적 환경이나 표적이 밀집한 상황에서도 우수한 분리 성능을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 아울러 본 연구는 기존 탐지 시스템에서 이미 제공되는 각도 정보만을 활용하므로 연산량이 낮아 실시간 처리가 가능하기 때문에 실시간성이 중요한 시스템에 적용 가능하다는 장점이 있다.

AESA 레이더 비행시험을 통해 실제 레이더 시스템 환경에서 적용성 및 유효성을 입증하였다는 점에서 타 연구 대비 우수함과 본 연구의 의의를 찾을 수 있다. 본 연구 결과는 다양한 분야에 폭넓게 적용하여 정밀한 표적의 분리 탐지 및 인식을 가능하게 하는 점에서 큰 효과를 기대할 수 있다. 그러나 제안하는 방법의 파라미터 최적화가 이루어지지 않았다는 점에서 본 연구의 한계를 찾을 수 있다. 신뢰도 있는 파라미터 최적화를 위해서는 반복적인 비행시험을 통해 더욱 많은 실험 데이터 수집이 필요하므로, 최적화를 위한 연구는 본 논문의 향후 과제로 한다.

References

- [1] Y. J. Kong, et al., "Separation of Adjacent Targets using Range-Doppler Clustering Method", The Journal of The Institute of IIBC, Vol. 20, No. 2, pp. 67-73, Apr. 2020. <http://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.67>.
- [2] Y. J. Kong, S. Sohn, H. Moon, D. G. Yoo, Y. H. Jang, and E. Yang, "Clustering Method Using a Monopulse for Divided Detection of Closely

Spaced Airborne Targets", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 32, No. 6, pp. 566-574, Jun. 2021. <http://doi.org/10.5515/KJKIEES.2021.32.6.566>.

[3] T. H. Kim, et al., "Design of Waveform and Signal Processing of Target Detection for Detecting Closely Spaced Airborne Targets in Airborne Radar", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 31, No. 2, pp. 154-164, Feb. 2020. <http://doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.2.154>.

[4] H. Ju, D. Kim, T. Jeong, and B. Cho, "Study on a Hit Clustering Algorithm for Separating Ground Clutter Signals in FTT of Airborne Radar", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 36, No. 7, pp. 665-673, Jul. 2025. <http://doi.org/10.5515/KJKIEES.2025.36.7.665>.

[5] Y. Gao, A. Aubry, A. D. Maio, and H. Ji, "Adaptive Target Separation Detection", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 47, No. 1, pp. 293-309, Feb. 2021. <http://doi.org/10.1109/TAES.2020.3018898>.

[6] S. Xu and A. Yarovoy, "Motion-Based Separation and Imaging of Closely Spaced Extended Targets", IEEE Sensors Journal, Vol. 20, No. 22, pp. 13542-13551, Nov. 2020. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3004909>.

[7] J. A. Högbom, "Aperture Synthesis with a Non-Regular Distribution of Interferometer Baselines", Astronomy and Astrophysics Supplement, Vol. 15, pp. 417-426, Jun. 1974.

[8] B. R. Y. Lee, S. Peruri, and J. T. Teo, "The Bird in the Swarm: How to Detect and Resolve Closely-Spaced Targets in RADAR", Proc. of the 9th IRC Conference on Science, Engineering, and Technology, Singapore, pp. 84-94, Dec. 2023. http://doi.org/10.1007/978-981-99-8369-8_9.

[9] Gukbang News, <https://gukbangnews.com/news/articleView.html?idxno=3601>. [accessed: Jul. 1, 2025]

[10] T. Jeong, S. Y. Kim, H. Ju, and B. Cho, "A

Study on the Adaptive Guard Cell-based Target Detection Technique for Airborne Surveillance Radar", Journal of KIIT, Vol. 23, No. 4, pp. 135-143, Apr. 2025. <http://doi.org/10.14801/jkiit.2025.23.4.135>.

[11] Google Earth Pro: <https://www.google.com/intl/ko/earth/about/>. [accessed: May 23, 2025]

저자소개

김 소 연 (So-Yeon Kim)



2012년 2월 : 세종대학교
지구정보공학과(공학사)
2014년 8월 : 세종대학교
지구정보공학과(공학석사)
2015년 9월 ~ 현재 :
국방과학연구소 선임연구원
관심분야 : 레이더 신호처리,

레이더 시스템

정 태 희 (Taehee Jeong)



2009년 2월 : 한양대학교
전자통신컴퓨터공학부(공학사)
2011년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학석사)
2024년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학부(공학박사)
2011년 1월 ~ 현재 :

국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 레이더 신호처리, 표적 탐지, 레이더 시스템

조 병 래 (Byunglae Cho)



1999년 2월 : 경북대학교
전자전기공학부(공학사)
2001년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학석사)
2005년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
2005년 3월 ~ 2006년 1월 :

포항공과대학교 전자전기공학과 연구원

2006년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 레이더 신호처리, 영상레이더