

항공기 탑재 레이더 FTT 기능의 지상 클러터 신호 분리를 위한 Hit Clustering 알고리즘 연구

Study on a Hit Clustering Algorithm for Separating Ground Clutter Signals in FTT of Airborne Radar

주혜선 · 김동환 · 정태희 · 조병래

Hyesun Ju · Donghwan Kim · Taehee Jeong · Byunglae Cho

요 약

항공기 탑재 레이더의 공대지 모드 운용 시 레이더 빔 폭, 운용 고도 및 운용 거리에 따라 지면으로 방사되는 레이더 빔 swath가 달라진다. 특히 FTT 기능은 지상의 고정 표적에 대한 추적을 수행하므로 표적과 지상 클러터의 거리가 가까운 경우 신호가 군집화되어 hit clustering 알고리즘을 거치게 되고 이는 FTT 기능의 추적 정확도 성능을 감소시킨다. 따라서 본 논문에서는 FTT 기능 수행시 입력하는 SPI 위치 정보를 활용하여 hit clustering 알고리즘으로 처리되는 데이터들을 선별하고 그 결과로 거리 방향 추적 정확도를 향상시키는 내용에 대해 다룬다. 또한 실 비행시험을 통해 기존 hit clustering 알고리즘과 제안된 hit clustering 알고리즘 결과를 비교한다.

Abstract

In air-to-ground radar operations, the swath of the radar beam projected onto the ground changes, depending on the beam width, own-ship altitude, and operating range. In particularly, FTT is used to track stationary ground targets. When the target and ground clutter are in close proximity, the signals become clustered, leading to processing using the hit clustering algorithm, which subsequently reduces the tracking accuracy. Therefore, this study discusses how SPI information can be used to filter data and thereby improve tracking accuracy. In addition, a flight test was conducted to compare the results of the conventional hit clustering algorithm with those of the proposed hit clustering algorithm.

Key words: (Active Electronically Scanned Array) AESA, Radar, (Fixed Target Tracking) FTT, Hit Clustering, Clutter

I. 서 론

항공기 탑재 레이더는 공대공 모드, 공대지 모드, 공대해 모드, 동시운용(interleaved) 모드 및 무장지원 운용을

제공한다. 공대지 모드 중 GM(ground map) 계열 모드의 하위 기능인 FTT(fixed target tracking) 기능은 레이더를 통해 얻은 Map 상에서 특정 지점을 선택 후 추적 빔을 운용하여 해당 지점의 정보(경사거리, bearing, 위도, 경도

「이 논문은 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 수행된 연구 결과임.」

국방과학연구소(Agency for Defense Development(ADD))

· Manuscript received March 8, 2025 ; Revised March 30, 2025 ; Accepted June 9, 2025. (ID No. 20250308-024)

· Corresponding Author: Hyesun Ju (e-mail: hyesunju@add.re.kr)

및 고도 값)를 획득한다. FTT 기능은 운용 개념상 조종사가 임무비행 수행 전 위도, 경도 및 고도 값이 검증된 타겟(CR, corner reflector) 설치 지점 등의 정보를 SPI(system point of interest) 값으로 test card에 반영하고, 해당 지점에 FTT 기능을 수행하여 수신된 빔 정보를 바탕으로 레이더 calibration을 수행한다. 또한 FTT 기능을 통해 지정된 고정 표적의 위치 좌표를 획득하고 이를 활용하여 무장 조준 또는 타게팅 포드에 가시선을 제공하므로 보다 정확한 거리 방향 추적 정확도가 요구된다.

하지만 현재 FTT 신호처리 방식은 표적 지점인 SPI 기준으로 \pm 수 백 미터의 데이터를 획득하여 신호 처리하므로 표적 이외 지상 클러터 신호가 포함되는 문제가 있다. 표적 인근 좁은 범위의 데이터만 처리하지 않고 SPI 기준 \pm 수 백 미터의 데이터를 처리하는 이유는 MC(mission computer)에서 레이더로 SPI 정보를 전달할 때 지구 좌표계 기준 절대 값이 아니라 현재 레이더 위치를 기준(EGI[embedded GPS/INS] 이용)으로 상대적인 좌표 값(total cursor x, y, z 형태)으로 전달하고, 레이더는 빔 조향을 위해 이를 다시 지구 좌표계 값으로 환산할 때 발생하는 시스템 딜레이를 고려해야 되기 때문이다. 따라서 표적 인근 타 건물 또는 클러터가 레이더 빔 폭 내 존재하는 경우 신호처리 단계에서 지상 클러터를 range 정보로 필터링 하지 못하는 경우가 발생하며, 특히 지상 클러터 신호가 SPI 위치 가까이에서 유입되는 경우 이들은 하나의 신호로 clustering 되어 최종적으로 거리 방향 추적 정확도가 떨어진다.

기존의 클러터 제거 기법으로는 도플러 필터 기반 MTI(moving target indication) 및 CFAR(constant false alarm rate) 기법 등이 주로 사용되어왔다^{[1][2]}. MTI 기법은 주로 도플러 주파수를 기반으로 배경 클러터로부터 이동 표적을 필터링하므로 고정 표적과 배경 클러터의 신호 분리는 어렵다. 또한 CFAR 기법은 주변 환경의 통계적 특성을 이용하여 배경 잡음 및 클러터 수준에 따라 탐지 임계값을 자동으로 조정하는 방법으로 이미 신호처리 내 적용 중이나 고정 표적을 복잡한 클러터 환경으로부터 분리하기에 한계가 있다.

그러므로 본 논문에서는 지상 클러터 신호 분리를 위해 CFAR 기법 뿐만 아니라 개선된 hit clustering 알고리즘을 적용하여 결과를 비교한다. 통상 hit clustering 기법은 레이더 신호처리 과정에서 탐지된 신호(hit)들을 거리 정

보를 기준으로 인접한 신호들끼리 하나의 clustering 신호로 그룹화하는 과정으로 지상 클러터 분리와 관련 없는 알고리즘이지만, 제안하는 개선된 hit clustering 알고리즘은 SPI 위치 정보를 활용함으로써 지상 클러터를 분리하여 거리 방향 추적 정확도를 향상시키는 기법이다. 논문의 II장에서 밀집된 hit들을 하나의 clustering 신호로 구하는 일반적인 hit clustering 알고리즘과 지상 클러터 신호 분리를 위해 SPI 위치 정보를 통해 데이터를 필터링하는 개선된 hit clustering 알고리즘 기법에 대해 설명하고, Dwell 단위의 처리 결과를 비교한다. 마지막으로 III장에서는 실제 항공기 탑재 레이더 비행시험을 통해 II장에서 다룬 일반 알고리즘과 개선된 알고리즘 기법에 대한 추적 정확도 결과를 비교한다.

II. FTT 기능 Hit clustering 알고리즘

2-1 FTT 기능 신호처리 과정

레이더 송신 파형은 크게 CW(continuous waveform) 및 PW(pulsed waveform)으로 구분할 수 있다. 항공기 탑재 레이더의 경우는 하나의 안테나를 통해 송신 및 수신을 수행하므로 PW 방식을 이용하며, PW 방식은 펄스 반복 주파수(PRF, pulse repetition frequency)에 따라 표적 거리 및 속도에 대한 모호성이 존재한다. 그 중 LPRF(low PRF)의 경우 펄스 주기가 길어 관심 표적이 한 펄스 시간 이내에 나타나므로 거리 모호성이 없다. 따라서 FTT 기능은 속도가 없는 고정 표적에 대한 추적을 수행하는 것이므로 LPRF를 사용한다.

레이더로 수신된 반사신호는 펄스압축, NCI(non-coherent Integration), CFAR 및 hit clustering 단계를 거쳐 FTT 기능 표적에 대한 정보(경사거리, bearing 등)를 산출한다^[3]. 펄스압축 단계는 LFM(linear frequency modulation) 수신 신호에 대하여 수신단에서 matched filtering을 하는 기법으로 펄스 폭을 길게 하면서도 좋은 해상도를 갖게 하는 신호처리 기법이다. NCI 단계는 수신 신호의 위상 정보는 고려하지 않고 크기 정보만을 이용하는 기법으로 설정한 탐지확률 및 오경보율을 만족시키기 위한 단계이다. 본 FTT 기능에서는 각 펄스별 주파수를 다르게 적용

하는 frequency agile 기법을 이용하여 노이즈의 랜덤성 감소 효과를 높였다. 다음으로 CFAR 단계는 NCI 처리된 수신 신호 중 거리 방향으로 cell을 탐색하여 표적 신호를 식별한다. 주변 노이즈 및 클러터를 찾는 방법은 test cell의 좌/우 방향으로 특정 간격으로 셀을 이동하며 값을 찾아 평균값을 취하고, 이에 scale factor을 곱한 값을 임계치로 두어 이 임계치보다 값이 큰 cell 신호는 hit 신호로 처리된다. 이때 scale factor 값은 클러터 계수를 0.1로 가정하고 비행 고도 및 grazing angle에 따른 표적(CR)의 RCS 값을 고려하여 SCNR(signal clutter noise ratio)를 분석하여 결정하였다.

이후 여러 셀에 걸쳐 탐지된 신호들을 군집화하여 Dwell 당 대표 plot을 생성하는 것이 hit clustering 단계로 이웃한 range bin에서 연속적으로 CFAR 탐지된 결과를 하나로 통합한다. 그림 1의 순서도는 hit clustering 수행 전 인접한 신호들의 그룹을 생성하는 단계로 첫 hit cell부터 다음 인접한 cell에 hit cell이 존재하는지 확인하여 존재한다면 그룹을 지정하기 위해 동일한 flag를 할당하고, 존재하지 않으면 기존 flag 값에서 1을 증가시킨다. 이렇게 할당

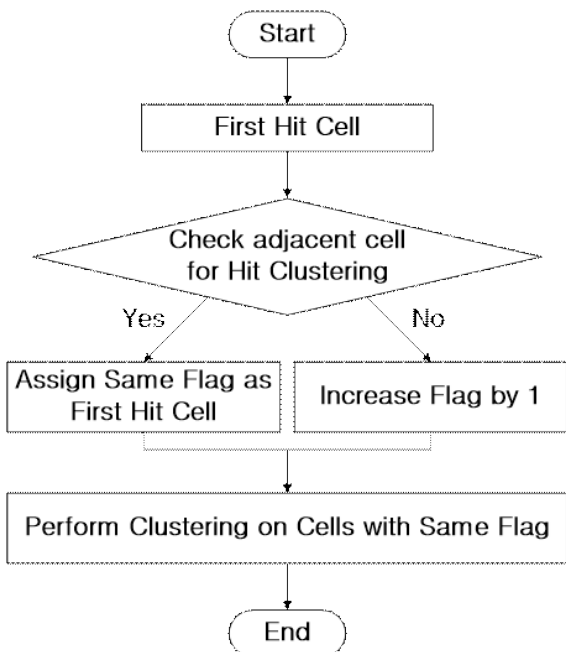


그림 1. Hit clustering 내 flag 할당 알고리즘
Fig. 1. Flag assignment algorithm of hit clustering.

된 flag 그룹 각각에 대해 clustering을 수행하는데, 경사 거리를 추정하기 위해 식 (1)에 따라 range cell의 centroiding을 수행하여 Dwell plot의 거리값을 계산한다⁴⁾. 여기서 \hat{R} 은 동일 flag 신호들의 range clustering 결과, A_i 는 i번째 cell의 amplitude 그리고 r_i 는 i번째 cell의 range를 의미한다. 이후 Dwell plot의 모노펄스 각도를 추출하여 방위각, 고각 정보를 생성하며, 이때 NCI 펄스의 주파수별 모노펄스 계수를 평균하여 추정한다.

기존 hit clustering 알고리즘을 처리한 결과는 그림 2와 같으며 Dwell plot range는 그래프 상 적색 동그라미(o) 마커로 표현된다. 좌측에서 첫 번째, 두 번째 cell이 flag 1 집단으로 분류되어 2개의 cell을 centroiding 한 Dwell plot 결과가 도시되었고, 그래프 중반부의 7개의 셀들이 flag 2 집단으로 분류되어 이들을 centroiding 한 Dwell plot까지 총 2개의 Dwell plot이 생성되었다. 여기서 flag 1 집단은 FTT 기능 시험을 위해 지정한 표적과 동떨어진 타 신호이며, flag 2 집단은 지정한 표적(SPI 정보, 녹색 점선) 이외의 타 표적의 신호가 유입되어 clustering 대상이 7개의 cell에 걸쳐 분포된 상태이다.

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i r_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (1)$$

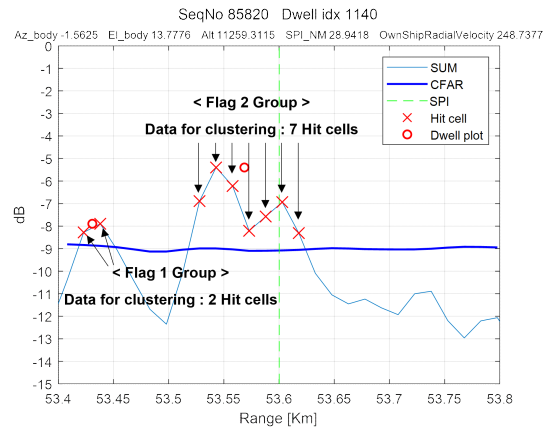


그림 2. Hit clustering 신호 및 Dwell plot(기존 알고리즘)
Fig. 2. Hit clustering signal and Dwell plot (conventional algorithm).

2-2 지상 클러스터 분리를 위한 Hit clustering 알고리즘

FTT 기능은 조종사가 비행 중 test card에 미리 반영된 특정 SPI 좌표를 선택하거나, GM 계열 모드 운용 시 GM 영상 내에서 공대지 커서를 이동시켜 원하는 지상 지점에 위치시킨 후 해당 지점을 SPI로 설정함으로써 작동할 수 있다. 이에 따라 본 절에서는 SPI 정보를 활용해 표적의 좌표를 결정하는 hit clustering 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 SPI 정보를 기반으로 한 신호처리 방식으로, 사용자는 원하는 위치를 Source 데이터 선별 기준 값으로 입력하고, 알고리즘은 이를 바탕으로 주변 셀들 중 유효한 셀들을 clustering하여 대표 위치를 도출한다.

구체적인 과정은 다음과 같다. 먼저 SPI를 기준으로 신호가 존재하는 hit cell을 탐색한다. 탐색된 인접한 셀들에는 각각 고유한 그룹 번호를 지정하는 flag 값을 할당하여 서로 다른 그룹으로 구분한다. 이후 동일한 flag 값을 가진 셀들 중에서 가장 높은 신호 값을 갖는 셀을 식 (2)와 같이 peak cell로 지정한다. 이때 F_i 는 i번째 flag 그룹을 의미하며, $Peak(F_i)$ 은 해당 그룹에서 가장 큰 신호 값을 가진 셀을 뜻한다.

SPI에서 가장 가까운 위치의 peak cell을 찾기 위해 다음 단계에서는 식 (3)에 따라 각 셀(c_j)과 표적의 좌표 간 거리(d_j)를 계산한다. 여기서 각 셀의 좌표는 x_j, y_j, z_j 이며, 표적의 좌표는 x_T, y_T, z_T 이며, 표적의 좌표 간 거리(d_j)가 가장 짧은 셀이 새로운 peak cell(C_p)로 지정된다.

이후 식 (4)~식 (6)과 같이 선택된 peak cell(C_p)을 기준으로 clustering 범위를 설정하기 위해, 해당 셀을 중심으로 좌/우 방향으로 신호 값을 탐색한다. $MinLeft$ 는 peak cell(C_p)을 기준으로 왼쪽 ($i < p$) 방향으로 이동하며 최초로 최솟값이 발생하는 셀이며, $MinRight$ 는 peak cell(C_p)을 기준으로 오른쪽 ($i > p$) 방향으로 이동하며 최초로 최솟값이 발생하는 셀이다. 즉 peak cell(C_p)를 기준으로 좌/우로 이동하면서 최솟값이 처음으로 나타나는 지점을 clustering 경계로 설정한다. 마지막으로 이렇게 결정된 $MinLeft$ 부터 $MinRight$ 까지의 셀들은 clustering 대상이 되어 식 (1)의 방식에 따라 대표값이 계

산된 후 최종적인 Dwell plot을 형성하게 된다.

$$Peak(F_i) = peak(c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{in}) \tag{2}$$

$$d_j = \sqrt{(x_j - x_T)^2 + (y_j - y_T)^2 + (z_j - z_T)^2} \tag{3}$$

$$C_p = \min(d_j) \tag{4}$$

$$MinLeft = C_k \tag{5}$$

(where $k = \max(i), C_i = low(C_1, C_2, \dots, C_{p-1})$)

$$MinRight = C_k \tag{6}$$

(where $k = \min(i), C_i = low(C_{p+1}, C_{p+2}, \dots, C_n)$)

본 알고리즘을 반영한 결과는 아래 그림 3과 같으며, 이는 SPI 위치를 hit clustering 알고리즘에 반영하여 표적에 의한 hit cell 4개만을 flag1 집단으로 분류하여 처리한 결과이다. SPI 위치와 Dwell plot(그림 2의 경우는 두 번째 Dwell plot) 간 거리 오차를 정리한 결과는 표 1과 같으며, 기존 알고리즘 적용 시 약 168.3m 거리 오차에서 제안 알고리즘 적용 시 4.5m 거리 오차를 가짐을 알 수 있다. 이는 SPI 정보를 이용하여 hit clustering source 데이터들을 선별하여도 hit clustering 및 centroiding 과정을 통해 실제 표적 신호(SPI 위치, 녹색 점선)와 근접하게 Dwell plot(적색 동그라미)이 생성됨을 의미한다.

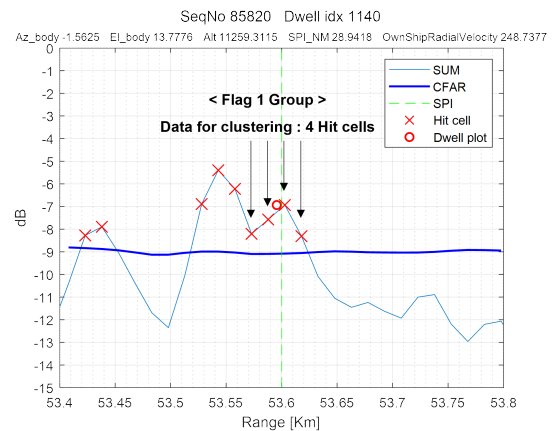


그림 3. Hit clustering 신호 및 Dwell plot(제안 알고리즘)
Fig. 3. Hit clustering signal and Dwell plot (proposed algorithm).

III. 항공기 탑재 레이더 비행시험 결과

본 절에서는 항공기 탑재 레이더를 활용한 비행시험을 통해, 제안한 알고리즘의 성능을 실험적으로 검증하였다. AESA(active electronically scanned array) 레이더가 장착된 시험 항공기^[6]를 사용하였으며, 실제 비행 경로는 그림 4에 나타나 있다. 레이더 시험을 수행할 FTT 표적 지점에 CR을 설치하고, 항공기가 해당 지점을 향한 경로로 비행하면서 다양한 거리에서의 데이터를 수집하였다. 그 중 그림 5와 같이 FTT 표적과 기회표적이 거리방향으로 수십 미터 이내 존재하는 경우가 발생하였고(Dwell Num: 1,000~1,300 구간) 해당 구간에 대해 기존 hit clustering

표 1. 거리 오차 결과(SPI - Dwell plot)
Table 1. The result of range error (SPI - Dwell plot).

Category	Range error (SPI - Dwell plot) (m)
Conventional algorithm	169.288
Proposed algorithm	4.542

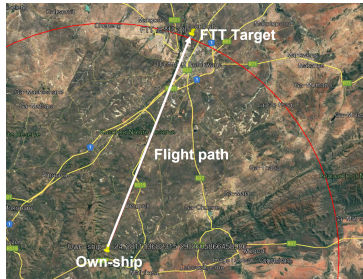


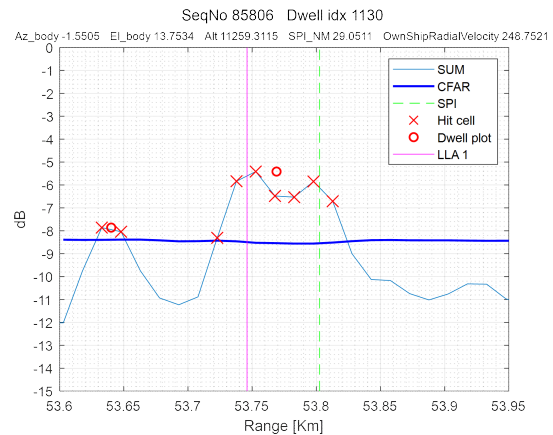
그림 4. FTT 기능 비행시험 경로(국외 비행시험)
Fig. 4. Flight test path of FTT (international flight tests).



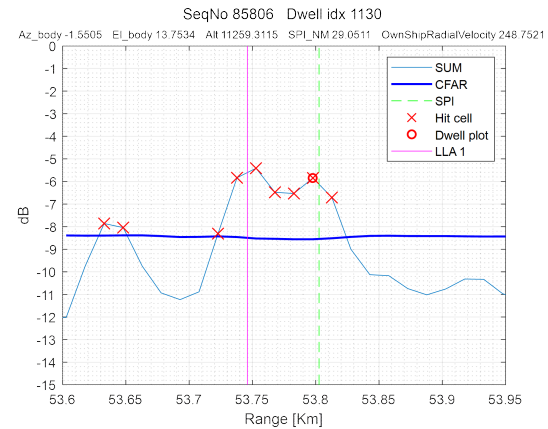
그림 5. FTT 표적과 기회표적
Fig. 5. FTT target and opportunity target.

알고리즘 적용 시와 제안한 hit clustering 알고리즘 적용 시에 따른 추적 정확도 결과를 분석하였다.

Dwell Num 1,000~1,300 구간 중 먼저 하나의 Dwell 신호 처리 결과를 예시로 비교해 보면 그림 6과 같다. 해당 Dwell에서 SPI 좌표(녹색 점선), Dwell plot 좌표(적색 동그라미) 및 기회표적의 좌표(분홍색 실선) 간의 차이를 시각적으로 확인할 수 있다. 기존 알고리즘과 개선된 알고리즘 적용 결과를 비교하면 기회 표적으로 인한 지상 클러스터(기회표적, 분홍색 실선) 유입시, 제안된 알고리즘을 이용하여 지상 클러스터 신호가 분리되어 hit clustering



(a) 기존 알고리즘
(a) Conventional algorithm

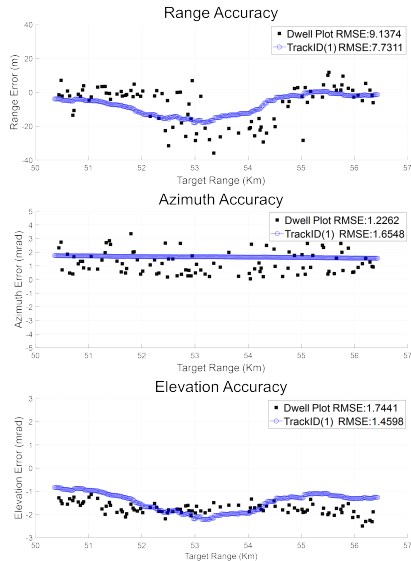


(b) 제안 알고리즘
(b) Proposed algorithm

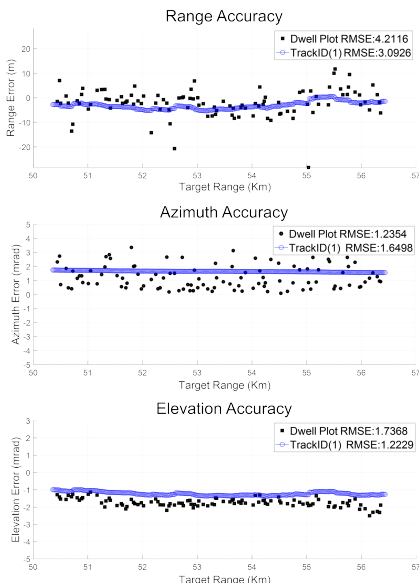
그림 6. Dwell plot 신호처리 결과(Dwell Num: 1130)
Fig. 6. Signal processing result of dwell plot (Dwell Num: 1130).

처리되었고 이로 인해 실제 FTT 표적(SPI 좌표)과 가까운 곳에 Dwell plot(적색 동그라미)이 생성되었다.

Dwell Num 1,000~1,300 구간의 데이터에 대해 Dwell



(a) 기존 알고리즘
(a) Conventional algorithm



(b) 제안 알고리즘
(b) Proposed algorithm

그림 7. 추적 정확도 결과(Dwell Num: 1,000~1,300)
Fig. 7. The result of tracking accuracy (Dwell Num: 1,000~1,300).

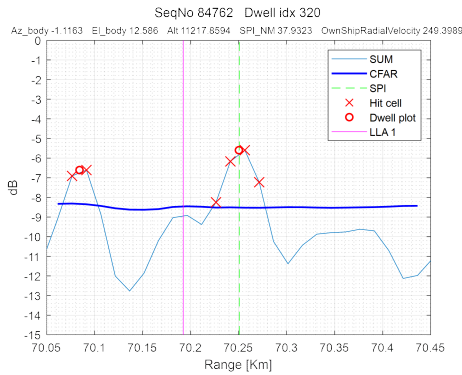
plot와 Track의 RMSE 기반 통계 분석을 수행한 결과, range error 기준으로 약 60 % 정확도 향상이 확인되었다. 그림 7(a) 및 그림 7(b)는 CR과의 range, azimuth 및 elevation 방향 각각에서의 error 분포를 보여준다. 제안한 hit clustering 알고리즘 적용 시, 평균 거리 오차가 약 7.73 m에서 3.09 m로 감소하였으며 azimuth와 elevation 정확도 또한 소폭 향상되었음을 확인할 수 있다. 관련 정량적 결과는 표 2에 요약되어 있다. 그리고 추적 결과 뿐만 아니라, Dwell plot(검정색 데이터)을 비교해 보면 기존 알고리즘 적용 시에는 -20m에서 -40m까지의 범위에 range error 값이 분포했지만, 제안한 알고리즘 적용 시 -20m에서 -40m까지의 범위의 range error 값들이 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

반면 기회 표적에 의한 지상클러터가 유입되지 않는 Dwell Num 93~1,000 구간의 데이터들을 대상으로 기존 hit clustering 알고리즘과 제안한 hit clustering 알고리즘을 적용하여 비교를 수행하였다. 그림 8의 Dwell 신호 처리 결과를 보면 알 수 있듯 Dwell Num 93~1,000 구간의 데이터에서는 지상 클러터 신호 유입이 없기 때문에 hit clustering 처리되는 데이터들이 똑같으며, 그림 9 및 표 3과 같이 추적 정확도 결과는 기존 hit clustering 알고리즘과 제안한 hit clustering 알고리즘 모두 같은 값을 가진다. 따라서 제안한 알고리즘은 지상 클러터가 존재하는 상황 뿐만 아니라 지상 클러터가 존재하지 않는 일반적인 상황에서도 안정적으로 동작함을 확인하였다.

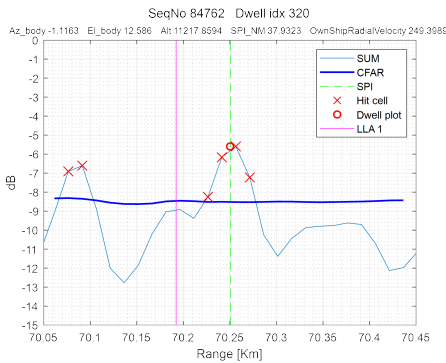
또한 제안된 알고리즘의 실제 적용 가능성을 평가하고자 그림 10과 같은 국내 환경에서 수집된 실측 데이터를 활용하여 추가적인 성능 분석을 수행하였다. 그 결과 그림 11 및 그림 12와 같이 기존 hit clustering 알고리즘과 제안한 hit clustering 알고리즘 모두 동일한 추적 정확도 결과가 도출되었으며, 이는 알고리즘의 안정성과 신뢰성을 입증한다.

표 2. 추적 정확도 결과(Dwell Num: 1,000~1,300)
Table 2. The result of tracking accuracy(Dwell Num: 1000 ~ 1300).

Category	Conventional algorithm	Proposed algorithm
Range error (m)	7.7311	3.0926
Azimuth error (mrad)	1.6548	1.6498
Elevation error (mrad)	1.4598	1.2229



(a) 기존 알고리즘
(a) Conventional algorithm



(b) 제안 알고리즘
(b) Proposed algorithm

그림 8. Dwell plot 신호처리 결과(Dwell Num: 320)
Fig. 8. Signal processing result of dwell plot(Dwell Num: 320).

표 3. 추적 정확도 결과(Dwell Num: 93~1,000)
Table 3. The result of tracking accuracy (Dwell Num 93~1,000).

Category	Conventional algorithm	Proposed algorithm
Range error (m)	1.7431	Same as left
Azimuth error (mrad)	1.2419	Same as left
Elevation error (mrad)	1.6895	Same as left

IV. 결 론

지상 고정 표적 추적 시 빔 폭 내 추적하고자 하는 관심 표적만 존재하는 경우 레이다는 정확한 거리, 방위 및 고각 방향 정확도를 계산할 수 있다. 하지만 실제 상황

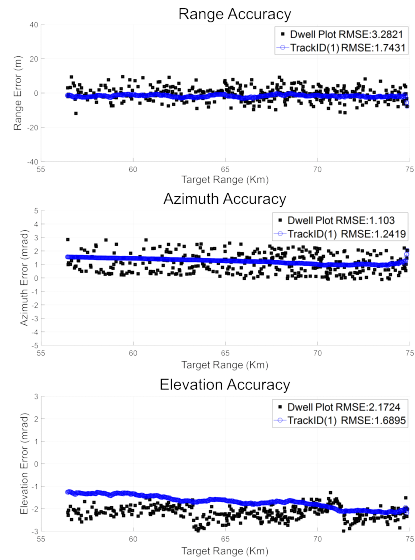
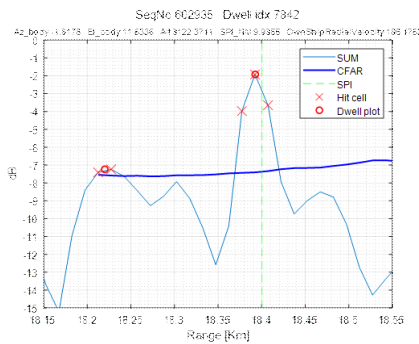


그림 9. 추적 정확도 결과(Dwell Num: 93~1,000)
Fig. 9. The result of tracking accuracy (Dwell Num 93~1,000).

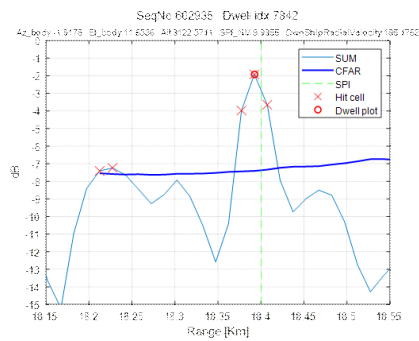


그림 10. FTT 표적(국내 비행시험)
Fig. 10. FTT target (Domestic flight test).

서는 관심 표적 이외 근처 타 건물 등 다수의 클러스터가 존재하며, 관심 표적과 클러스터는 모두 도플러 성분이 없으므로 도플러를 이용한 방법으로 분리할 수 없다. 또한 관심 표적과 클러스터를 거리 정보로 분리하는 방법은 레이다가 항공기 MC와의 시스템 딜레이를 고려하여 \pm 수백 미터의 데이터를 신호처리 하므로 한계가 있는데, 연속되지 않는 신호들을 분리하기 위해 hit cell의 연속성을 판단하여 flag를 부여해 집단화하여도 수십미터 내 있는 클러스터는 하나의 flag 집단으로 설정된다. 그 결과 관심 표적과 클러스터에 의한 신호가 모두 군집화되어 centroiding되



(a) 기존 알고리즘
(a) Conventional algorithm



(b) 제안 알고리즘
(b) Proposed algorithm

그림 11. Dwell plot 신호처리 결과(국내 비행시험)
Fig. 11. Signal processing result of dwell plot (Domestic flight test).

고, 각 Dwell 당 하나의 거리 값을 가지게 되므로 거리 오차를 증가시키는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 FTT 기능의 운용개념 특성을 활용하여 조종사가 직접 입력하거나 커서를 통해 지정하는 SPI 정보를 이용하여 지상 클러스터를 제외하여 hit clustering 처리하는 방법을 제안하고 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 그 결과 거리 방향으로 FTT 표적의 신호 크기와 유사한 지상 클러스터가 존재하는 경우 기존 기법 대비 거리 추적 정확도가 약 60% 향상됨을 실 비행시험을 통해 확인하였다.

또한 실제 조종사가 SPI 좌표 오차나 불확실성으로 표적을 정확히 지정하지 못한 경우를 고려하여 자체적으로 정확한 SPI 지점을 보정할 수 있도록 설계한다. 레이다는 추적 필터를 통해 이전 상태와 측정치(Dwell plot)를 통해 다음 위치를 예측하게 되는데 이러한 추적 결과를 레이

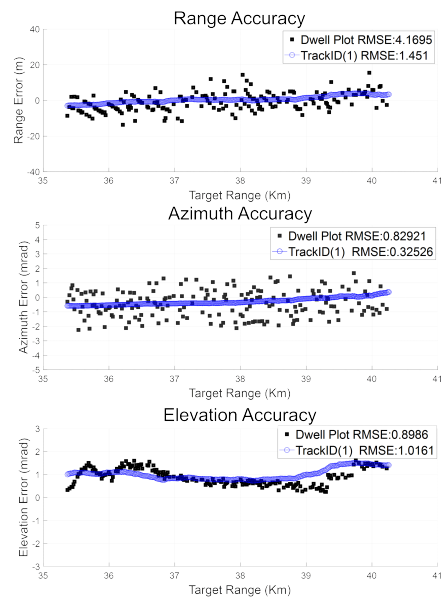


그림 12. 추적 정확도 결과(국내 비행시험 결과)
Fig. 12. The result of tracking accuracy (Domestic flight test results).

다는 MC로 데이터를 보내게 되고, MC는 해당 지점을 새로운 SPI로 설정하게 된다. 이때 FTT 운용 개념에 맞는 특정 거리를 설정하여 SPI를 중심으로 특정 거리 이내에 가장 큰 표적 신호가 존재할 경우 해당 신호의 위치를 새로운 SPI로 변경하는 개념이다. 이러한 필터링 기반의 SPI 보정 기법은 FTT 표적 추적 정확도 향상에 기여할 수 있음을 시사한다.

References

- [1] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2008.
- [2] H. Rohling, "Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 608-621, July, 1983.
- [3] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 1st ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2005.
- [4] B. J. Slocumb, D. L. Macumber, "Surveillance Radar Range-Bearing Centroid Processing: Part II, merged measurements," *Proceedings of the SPIE, Conference on Signal and Data Processing of Small Targets*, vol. 6236, Apr. 2006.

[5] S. Cho, Y. Kwak, H. Oh, H. Ju, and H. Park, "Progressive test and evaluation strategy for verification of KF-X AESA radar development," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 27, no.3, pp. 387-394, Jun, 2024.

주 혜 선 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0006-5630-7716>



2010년 2월: 부산대학교 전자전기공학과 (공학사)
2013년 2월: 부산대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2015년 2월: 부산대학교 전자전기컴퓨터 공학과 (공학박사 수료)
2017년 2월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] AESA 레이더, 레이더 신호처리, 레이더 시험평가

정 태 희 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6427-8410>



2009년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학부 (공학사)
2011년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2024년 2월: 한국과학기술원 전기및전자 공학부 (공학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 표적 탐지, 레이더 시스템

김 동 환 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2089-4318>



2005년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 서울대학교 전기 및 컴퓨터공학부 (공학석사)
2021년 2월: 충남대학교 전자전기컴퓨터 공학과 (공학박사)
2007년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] AESA 레이더, 레이더 신호처리, 레이더 시험평가

조 병 래 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9160-3362>



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

연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상레이더