

편대비행 표적 분리 탐지를 위한 모노펄스를 이용한 클러스터링 방안

Clustering Method Using a Monopulse for Divided Detection of Closely Spaced Airborne Targets

공영주 · 손성환 · 문현욱 · 유동길 · 장윤희* · 양은정*

Young-Joo Kong · SungHwan Sohn · HyunWook Moon · Dong-Gil Yoo · Youn Hui Jang* · Eunjung Yang*

요 약

레이다 시스템에서 클러스터링 알고리즘은 CFAR 알고리즘을 수행한 결과인 히트들에 대하여 인접한 셀들을 하나의 클러스터로 묶는 데 주로 사용된다. 그러나 편대비행 중인 표적의 경우에는 일반적인 클러스터링 알고리즘으로는 편대비행체 모두 탐지되지 않고, 하나의 표적으로 탐지되는 경우가 많다. 본 논문에서는 거리해상도 및 도플러 해상도를 높이지 않고 모노펄스를 이용하여 편대비행 표적을 분리할 수 있는 클러스터링 방안에 대하여 서술한다. 인접한 히트이더라도 모노펄스 값이 일정값 이상일 경우에는 하나의 클러스터로 묶지 않고 분리한다.

Abstract

In a radar system, a clustering algorithm is mainly used to group adjacent cells using CFAR algorithm results. However, in closely spaced airborne targets, it is difficult to divide the targets using common clustering methods. Therefore, this paper proposes a clustering method using a monopulse rather than increasing the range and Doppler resolution. Even with adjacent hits, if the monopulse value is more than a specified threshold, the results are not grouped into one cluster.

Key words: CFAR, Clustering, Radar, Monopulse

I. 서 론

레이다 시스템은 전파를 공간상에 방사시켜 반사된 수신신호를 이용하여 표적을 탐지하는 것이다. 수신한 신호의 대부분은 잡음 신호가 차지하고 있고, 일반적으로 표적 탐지는 오경보율(probability false alarm) 기반으로 수행된다^[1]. 이 오경보율을 이용하여 주위 잡음 신호에 따라

서 임계값을 설정하는 기법인 CFAR(constant false alarm rate) 알고리즘이 표적 탐지에 사용된다.

편대로 비행하는 비행체 표적들은 거의 동일한 거리에서 비슷한 속도로 움직인다. 이런 상황을 고려하지 않고, 일반적인 신호처리 알고리즘으로 표적을 탐지/추적할 경우에는 하나의 표적으로만 탐지된다. 이럴 경우, 추적 시 다른 표적을 탐지함으로써 표적이 소실되는 경우가 발생

LIG 넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received March 8, 2021 ; Revised April 8, 2021 ; Accepted April 12, 2021. (ID No.20210308-020)

· Corresponding Author: Young-Joo Kong (e-mail: youngjoo.kong@lignex1.com)

한다^[2]. 따라서 이러한 편대로 비행하는 비행체 표적들을 분리하여 탐지하기 위해서는 거리 해상도 및 도플러 해상도를 높이는 방식이 주로 사용된다. 일반적으로 거리 해상도를 높이기 위해서는 광대역 주파수를 사용한다. 하지만 광대역 주파수를 사용하기 위해서는 광대역 RF (radio frequency) 소자를 사용해야 하는데, 이로 인하여 광대역 RF 소자의 단가 및 복잡도가 증가하게 된다. 그리고 광대역의 경우, 고속 샘플링 및 주파수 하향 변환 등을 요구하므로 실시간 신호처리가 어려울 수가 있다^[3].

도플러 해상도를 높이기 위해서는 한 버스트의 펄스 개수를 증가시키면 된다. 일반적으로 두 표적을 분리 탐지하기 위해서는 두 표적 사이의 도플러 주파수 차이는 도플러 해상도의 3배 이상을 만족해야 한다. 이 조건을 만족하기 위해서는 한 버스트 내 펄스 수는 급격하게 증가하게 되고, 증가되는 펄스 수는 표적의 방위각에 따라 달라진다. 버스트 내 펄스 개수가 증가되면 하나의 빔에 많은 레이더 자원을 할당하게 되어 우선순위가 낮은 임무에 대해서는 자원 할당이 이루어지지 않게 되어 전체적인 탐색/추적 성능 저하를 일으킬 수 있다. 따라서 이 방법은 필요한 상황에서 레이더 운용자에 의하여 RA(raid assessment)라는 특별한 모드에 한해 주로 운용되도록 하여야 한다^{[4][5]}.

본 논문에서는 거리 및 도플러 해상도를 증가시키는 기존 방안 대신 클러스터링 시 모노펄스를 이용하여 표적을 분리하는 방안에 대해 제시한다. 이러한 방법은 개발 비용 및 복잡도 상승과 자원관리의 문제점 없이 표적 분리가 가능하다는 점에서 효율적이지만, 하나의 표적에 대해서 여러 표적으로 분리될 수 있고, 거리/속도 오차가 발생한다는 단점이 존재한다. 따라서 모노펄스를 이용하여 클러스터링 방법은 편대 비행 표적들로 인식되는 표적에 대해서만 적용함으로써 이러한 단점을 최소화할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제시한 모노펄스를 이용한 클러스터링 알고리즘과 일반적인 클러스터링 알고리즘 비교 결과를 제시한다.

II. 모노펄스를 이용한 클러스터링

일반적으로 레이더 시스템에서 클러스터링 알고리즘

은 CFAR 알고리즘을 수행한 후 인접 셀의 히트들을 하나의 표적으로 묶는 데 주로 사용된다^[6]. 여기서 히트는 CFAR 문턱치를 넘은 셀을 칭한다. 일반적으로 클러스터링 수행 시 인접 셀에 히트가 존재하면 그전 히트들과 하나의 클러스터로 묶는다. 기존 클러스터링 알고리즘은 거리/도플러 셀에 인접한 모든 셀들은 하나의 표적으로 인식하여 하나의 클러스터 번호를 부여한다. 따라서 거리나 도플러 방향으로 인접하게 표적이 2개 이상일 경우에도 일반적인 클러스터링 알고리즘은 하나의 표적으로 인식하게 된다. 이런 경우에 다른 표적을 탐지하게 되어 편대 비행체의 표적이 소실되는 경우가 발생된다. 본 논문에서는 인접 셀에 히트가 존재하더라도 모노펄스 값을 이용하여 하나의 클러스터로 묶지 않고 분리시키는 방안에 대하여 제시한다. 탐색이나 편대비행하지 않는 단독 비행체의 경우에는 모노펄스를 이용하여 클러스터링 수행 시 여러 표적으로 분리되는 단점이 존재하므로 편대비행이라고 인식되는 경우에서만 모노펄스를 이용하여 클러스터링을 수행한다^[7]. 그림 1은 모노펄스를 이용한 클러스터링 알고리즘 사용을 위한 신호처리 흐름도를 나타내었다. 편대 비행체들의 추적에 대해서만 모노펄스를 이용하여 클러스터링을 수행토록 한다.

레이다에서 편대로 비행하는 비행체들을 분리하여 탐지하려면 레이더와 편대 비행체들 간의 거리가 거리해상도만큼 떨어져 있어야 가능하다. 그림 2와 같이 편대 비행하는 비행체들이 방위각 방향으로 거리 l 만큼 떨어져 있으며, 레이더와 거리는 R 과 $R + \Delta r$ 로 나타낸다.

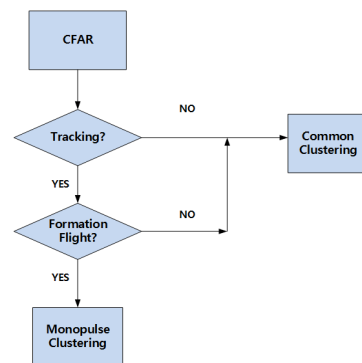


그림 1. 모노펄스를 이용한 클러스터링 흐름도
Fig. 1. Flow chart of a clustering using a monopulse.

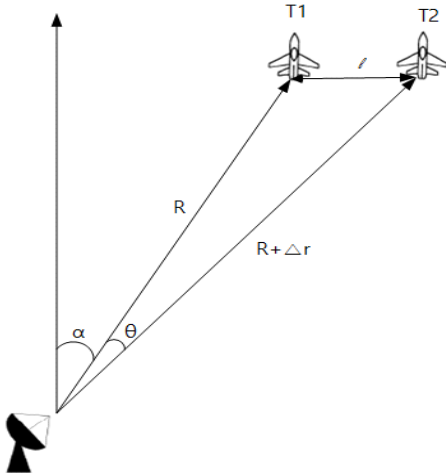


그림 2. 모노펄스를 이용한 클러스터링 표적 분리 개념
Fig. 2. Concept of separating targets by a clustering using a monopulse.

여기서 Δr 는 레이더 시스템의 거리해상도를 나타낸다. α 는 레이더 기준으로 표적 1(T_1)과의 방위각을, θ 는 레이더 기준으로 편대 비행체들(T_1 , T_2)의 방위각 차이를 나타낸다. 여기서 구분 가능한 편대 비행체들의 방위각 차이 θ 는 거리 R 에 따라 달라진다. 거리 R 에 따른 방위각 차이 θ 는 다음 식과 같다.

$$\cos(\alpha + \theta) = \frac{R \cos \alpha}{R + \Delta r} \quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{R \cos \alpha}{R + \Delta r} \right) - \alpha \quad (2)$$

레이더 반사 신호를 획득하여 펄스 압축, 도플러 처리하여 거리-도플러 전력 맵을 구한다^[8]. 이 거리-도플러 전력 맵에서 표적이 존재하는지를 찾기 위하여 가장 먼저 CFAR 알고리즘을 수행한다. 편대 비행 표적 탐지를 위해서는 다수 표적 환경에서 가장 표적 탐지 효과가 우수하다고 알려진 OS-CFAR(ordered statistic-CFAR, OS-CFAR) 알고리즘을 사용한다^[9]. 그림 3과 같이 거리방향으로 표적을 구분하기 위하여 거리방향으로만 참조 셀들을 설정한다. 각 참조 셀들을 오름차순으로 정렬한 뒤, 탐지 효과가 높다고 알려진 3/4 참조 셀에서 스켈링 팩터(scaling factor(τ))를 곱한 값을 문턱치(threshold)로 하여 히트 여부를 판단한다^[10].

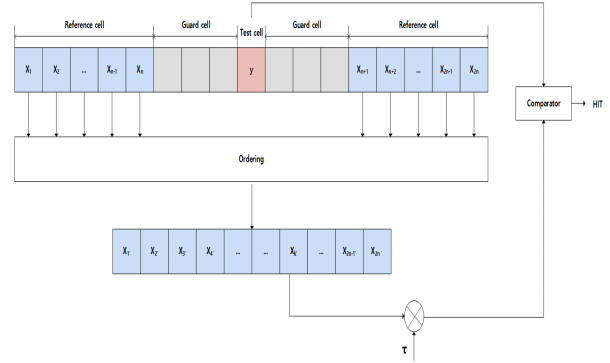


그림 3. OS CFAR 블록도
Fig. 3. OS CFAR block structure.

CFAR 알고리즘 수행 후에는 표적에 관한 히트들이 여러 셀에 걸쳐 나타난다. 클러스터링 알고리즘은 이런 여러 셀에 걸쳐 나타나는 히트들을 하나의 표적으로 묶고, 그 표적의 대표 셀을 찾아내는 것이다. 그림 4는 거리-도플러 맵에서 클러스터링 알고리즘을 수행하는 방법을 나타내었다. 2차원 거리-도플러 맵에서 거리방향으로 셀 인덱스를 증가시키면서 히트 여부를 검사하고, 이웃한 히트 셀들을 같은 클러스터 번호를 부여하여 클러스터링을 수

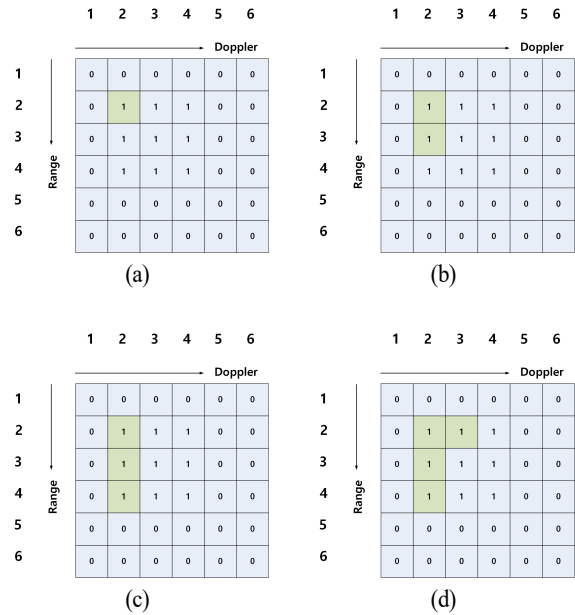


그림 4. 모노펄스를 이용한 클러스터링 방법
Fig. 4. Method of a clustering using a monopulse.

행한다^[11]. 그림 4(a)와 같이 초기 히트로 판단되면 이 히트에 새로운 클러스터 번호를 부여하고, 이 히트 셀이 이 클러스터의 대표 셀(2,2)이 된다. 그런 후 그림 4(b)와 같이 거리방향으로 인덱스를 증가하여 이 셀(3,2)에서 히트 유무를 판단한다. 이 셀이 히트라고 판단되면, 인접 클러스터의 대표 셀의 모노펄스 값과 비교한다. 모노펄스 값 차이가 식 (2)에서 구해진 방위각 차이 θ 보다 크다면 이 히트 셀에 새로운 클러스터 번호를 부여하고, 그렇지 않다면 같은 클러스터 번호를 부여한다. 그런 후 이 히트 셀(3,2)과 클러스터 대표 셀(2,2)의 전력 값을 비교하여 전력이 큰 셀이 이 클러스터의 새로운 대표 셀이 된다. (3,2)셀의 전력이 (2,2)셀의 전력보다 크면 클러스터 대표 셀은 (3,2)가 되고, 그렇지 않다면 (2,2)셀이 클러스터 대표 셀을 유지한다. 다시 그림 4(c)와 같이 거리방향으로 인덱스(4,2)를 증가시켜 위와 동일한 클러스터링 방식을 수행한다. 그림 4(d)와 같이 거리방향으로 인덱스를 계속 증가시켜 클러스터링을 수행한 후 마지막 거리방향 인덱스까지 도착하면 도플러방향으로 인덱스를 증가시켜 거리방향으로 새롭게 클러스터링을 수행한다.

그러나 그림 5와 같이 인접한 히트 셀이 2개 이상일 경우에는 인접한 히트 셀의 클러스터 번호를 확인한다. 그림 5(a)와 같이 현재 히트 셀(2,3)의 인접한 히트 셀의 클러스터 번호가 동일할 경우에는 앞서 말한 방식으로 클러스터링을 수행하면 된다. 인접 클러스터의 대표 셀의 모노펄스 값과 비교하고, 새로운 클러스터 번호를 부여하지 말지 판단하며, 같은 클러스터 번호를 부여할 경우에는 클러스터 대표 셀의 전력과 비교하여 대표 셀을 결정한다. 그러나 그림 5(b)와 같이 현재 히트 셀(3,3)의 인접

한 히트 셀의 클러스터 번호가 다를 경우에는 클러스터 번호가 작은 클러스터부터 클러스터링을 수행한다. 현재 히트 셀(3,3)의 모노펄스 값과 클러스터 번호가 작은 클러스터의 대표 셀(4,2)의 모노펄스 값을 비교하여 방위각 차이가 θ 보다 작으면 현재 히트 셀(3,3)에 같은 클러스터 번호를 부여한다. 같은 클러스터가 부여될 경우에는 현재 히트 셀(3,3)과 클러스터 대표 셀(4,2)의 전력을 비교하여 큰 전력을 가지는 셀(3,3)이 클러스터 대표 셀(3,3)이 된다. 그 후 클러스터 번호가 큰 클러스터의 대표 셀(2,3)과 현재 클러스터의 대표 셀(3,3)과의 모노펄스 값을 비교하여 하나의 클러스터로 판단할지 결정한다. 모노펄스 값 차이가 방위각 차이 θ 보다 작으면 인접한 모든 클러스터들은 하나의 클러스터 번호로 부여된다. 즉, 인접한 클러스터 번호 중 작은 클러스터 번호로 모두 치환한다.

그림 6에는 인접한 클러스터 번호가 다를 경우에 대한 클러스터링 결과들을 각각 나타내었다. 그림 6(a)는 현재 히트 셀과 인접 클러스터들의 모노펄스 값 차이가 방위각 차이 θ 이내일 경우, 하나의 클러스터로 묶인 결과를 나타내었다. 그림 6(b)는 클러스터 번호가 작은 클러스터와는 모노펄스 값 차이가 크지만 클러스터 번호가 큰 클러스터의 모노펄스 값 차이는 방위각 차이 θ 이내일 경

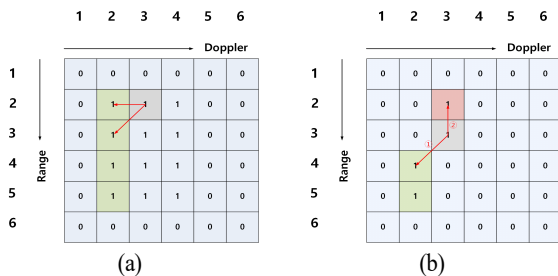


그림 5. 모노펄스를 이용한 클러스터링 방안 2
Fig. 5. Method of a clustering using a monopulse 2.

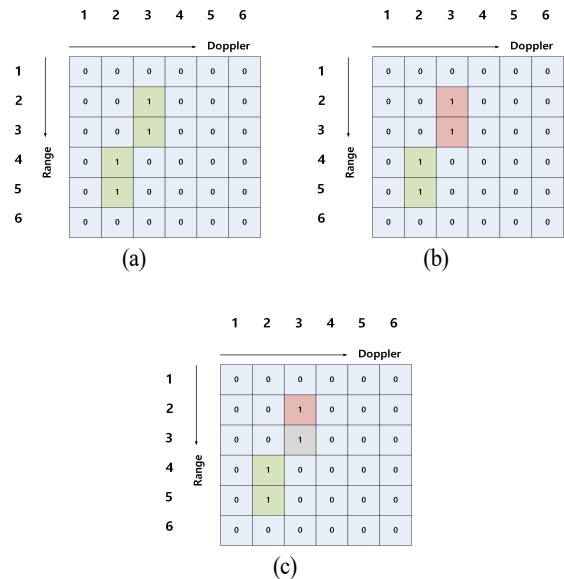


그림 6. 모노펄스를 이용한 클러스터링 결과
Fig. 6. Result of a clustering using a monopulse.

우, 현재 히트 셀이 클러스터 번호가 큰 클러스터로 묶인 결과를 나타내었다. 그림 6(c)는 현재 히트 셀과 인접 클러스터들의 모노펄스 값 차이가 방위각 차이 θ 보다 모두 클 경우, 각각 분리된 결과를 나타내었다. 모노펄스 값에 따라서 인접하더라도 클러스터가 2개 이상 분리될 수 있다.

III. 시뮬레이션

그림 7은 식 (2)에 의하여 거리에 따른 분리 가능한 편대비행체들의 방위각 차이 θ 를 나타내었다. 레이더와 편대비행체들과의 방위각 α 를 0도에서 20도로 설정하였고, 거리는 1 km에서 100 km로 설정하였다. 거리가 짧아질수록 구분가능한 방위각 차이는 기하급수적으로 커지는 것을 알 수 있다.

레이더 시뮬레이션을 통하여 모노펄스를 이용한 클러스터링 알고리즘을 구현하였다. 여기서는 거리해상도를 25 m로 설정하고, OS-CFAR 알고리즘에서 참조 셀은 좌우 각각 16셀씩 총 32셀로 설정하였다. 그리고 오경보율은 10^{-6} 이 되도록 설정하였다. 레이더와 편대비행체들과의 거리는 각각 50 km, 50.05 km로 설정하였다. 그리고 편대비행체들과의 방위각은 10도, 11도로 두 비행체간의 방위각 차이를 1도로 두었다. 편대비행체들의 비행속도는 동일하게 300 m/s로 두어 모노펄스를 이용한 클러스터링 알고리즘으로 편대비행체들이 분리 가능한지 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 식 2)에 의하여 분리가능한 방위각 차이는 0.1611도였다. 그림 8은 편대비행체들의 수

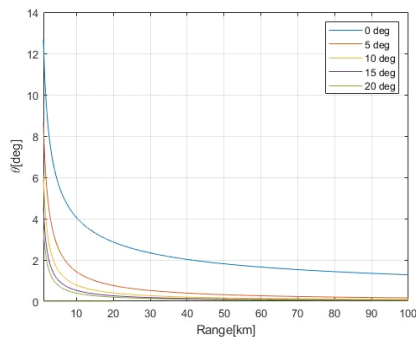


그림 7. 거리와 방위각에 따른 표적 분리 각도
Fig. 7. Degree of separating targets according to range and azimuth angle.

신신호에 대한 도플러 처리 결과를 나타내었다. 그리고 그림 9는 그림 8의 도플러 처리 결과에 대한 OS-CFAR 결과를 나타내었다. 그림 8과 9를 보듯이 도플러 처리 결과와 CFAR 결과만으로는 두 개의 편대비행체들이라고는 볼 수 없다. 그로 인하여 일반적인 클러스터링 결과는 그림 10과 같이 나타난다. 인접한 모든 셀들이 하나의 클러스터 번호로 부여되어 하나의 클러스터로 인식되었다.

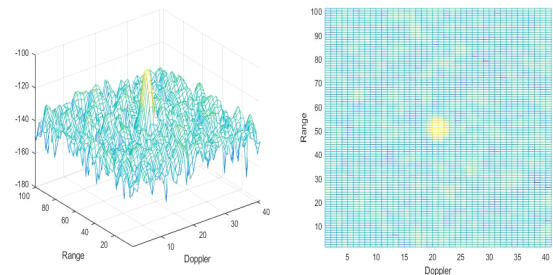


그림 8. 편대 비행체들의 도플러 처리 결과
Fig. 8. Doppler processing result of closely spaced airborne targets.

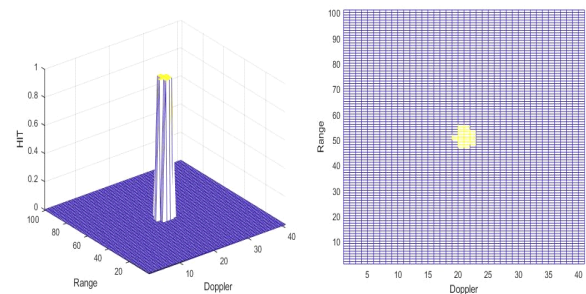


그림 9. OS-CFAR 결과
Fig. 9. Result of OS-CFAR.

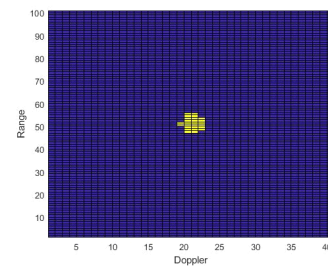


그림 10. 일반 클러스터링 결과
Fig. 10. Result of a common clustering.

그림 11은 편대비행체들의 모노펄스 값을 나타내었다. 거리에 따라 1도 정도 차이가 남을 알 수 있다. 이 모노펄스 값을 이용하여 편대비행체들을 분리할 수 있다. 그림 12는 모노펄스 클러스터링 알고리즘을 수행한 결과이다. 편대비행체들이 분리됨을 알 수 있다. 그러나 표적신호의 사이드부분은 신호 대비 잡음비(SNR: signal to noise ratio)가 작아 모노펄스 값의 오차가 발생하여 이 부분이 따로 분리되어 편대비행체를 포함하여 총 3개의 클러스터로 분리되었다. 그리고 클러스터의 무게중심들로 구해지는 클러스터의 거리, 속도 정보는 표적들이 인접되어 표적 신호들이 합해졌기 때문에 약간의 오차가 발생된다. 클러스터의 무게중심으로 구해진 3개 클러스터들의 거리, 속도와 그에 해당되는 방위각은 표 1과 같다^[12]. 이렇게 구해진 거리, 속도, 방위각을 이용하여 추적 범의 예측거리, 예측속도와 연관하여 추적을 이어간다.

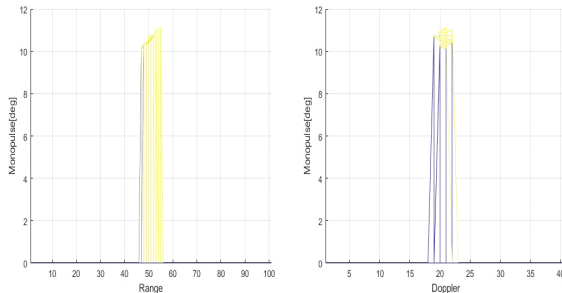


그림 11. 모노펄스 값
Fig. 11. Monopulse value.

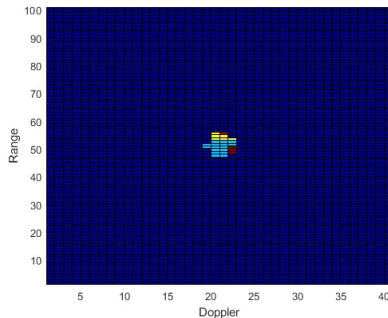


그림 12. 모노펄스를 이용한 클러스터링 결과
Fig. 12. Result of a clustering using a monopulse.

표 1. 클러스터들의 거리, 속도 및 방위각

Table 1. Range, velocity and azimuth angle of clusters.

Number	Rnage (km)	Velocity (m/s)	Az angle (deg)
Cluster #1	50.002	300.956	10.193
Cluster #2	50.085	300.819	10.878
Cluster #3	50.125	300.305	11.121

IV. 시뮬레이션 2

두 번째 시뮬레이션에서는 다른 파라미터는 첫 번째 시뮬레이션과 동일하게 설정하고, 레이더와 편대비행체들과의 거리는 각각 20 km, 20.05 km로 설정하였다. 그리고 편대비행체들과의 방위각은 4도, 6도로 두 비행체간의 방위각 차이를 2도로 두었다. 편대비행체들의 비행속도는 동일속도인 600 m/s로 설정하였다. 이때 식 (2)에 의한 분리가능한 방위각 차이는 0.9178도였다.

그림 13 및 그림 14는 편대비행체들의 도플러 처리결과와 OS-CFAR 결과를 나타내었다. 근거리 표적이므로 표적 신호가 커져 부엽 신호까지 히트로 표현되었다. 부엽에 대한 히트결과는 부엽차단 기능에 의하여 제거될

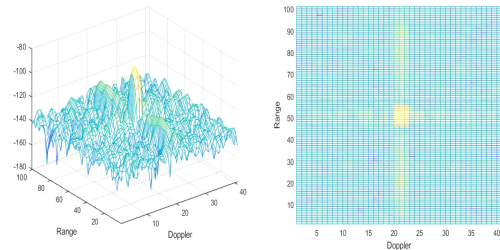


그림 13. 도플러 처리 결과
Fig. 13. Doppler processing result.

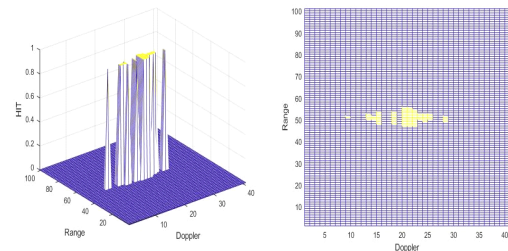


그림 14. OS-CFAR 결과
Fig. 14. OS-CFAR result.

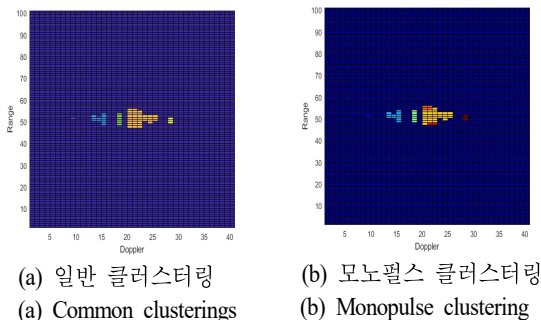


그림 15. 일반 클러스터링 결과와 모노펄스 클러스터링 결과

Fig. 15. Result of a common clustering and a clustering using a monopulse.

표 2. 클러스터들의 거리, 속도 및 방위각

Table 2. Range velocity and azimuth angle of clusters.

Number	Rnage (km)	Velocity (m/s)	Az angle (deg)
Cluster #1	20.015	600.283	4.082
Cluster #2	20.107	600.222	5.654
Cluster #3	19.925	600.217	3.039

것이다. 그림 15는 일반 클러스터링 결과와 모노펄스 클러스터링 결과를 나타내었다. 부엽 아닌 표적신호부분에서 일반 클러스터링 결과는 하나의 클러스터로 표현되었지만, 모노펄스 클러스터링 결과는 총 3개로 분리됨을 알 수 있다. 클러스터들의 거리, 속도 및 방위각 정보는 표 2에 나타내었다. 각각의 추적 범의 예측거리, 예측속도와 연관하여 3개 중 하나의 클러스터와 연관시켜 추적을 이어나가도록 한다.

V. 결 론

레이다에서 편대 비행하는 비행체들을 분리하여 탐지하기 위하여 거리 및 도플러 해상도를 높이지 않고 모노펄스를 이용하여 클러스터링을 수행하는 알고리즘 설계를 제시하였다. 제시한 클러스터링 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 일반 클러스터링과 비교를 통하여 편대비행체들의 분리 탐지 효과를 확인하였다. 편대비행체들의 표적 수보다 많게 분리되기도 하므로 추적 시 각 표적들의 거리, 속도 정보를 활용하여 예측거리, 속도와 연관시켜

추적을 이어가도록 한다. 그리고 단일 표적에 대해서도 분리되는 단점이 존재하므로 편대비행체들의 추적모드에 대해서만 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용토록 한다.

본 논문에서는 알고리즘 성능을 확인하기 위하여 일반적인 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 실제 환경은 다양한 클러스터 및 잡음이 존재하고, 편대비행체들의 기동 또한 다양할 것이다. 따라서 추후 본 논문에서 제시한 알고리즘을 실제 레이다에 적용하여 편대비행체들의 탐지 효과를 확인토록 하겠다.

References

- [1] Y. J. Kong, S. K. Woo, S. H. Park, S. Y. Shin, Y. H. Jang, and E. J. Yang, "OS CFAR computation time reduction technique to apply radar system in real time," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 10, pp. 791-798, Oct. 2018.
- [2] S. H. Hwang, S. B. Cha, S. W. Yoon, J. H. Jung, J. H. Lim, and S. H. Park, "Estimating the number of the targets in formation flight using monostatic/bistatic HRRP," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 17, no. 3, pp. 103-111, Mar. 2019.
- [3] E. H. Kim, T. H. Kim, and S. J. Kim, "A study on the methods to simulate the target reflective signal in a wideband radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 2, pp. 179-188, Feb. 2015.
- [4] T. H. Kim, J. H. Shin, S. W. Lee, J. H. Park, S. H. Jang, and S. J. Kim, "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.
- [5] J. W. Park, D. S. Jang, H. L. Choi, M. J. Tahk, J. E. Roh, and S. J. Kim, "Integrated simulator of airborne multi-function radar resource manager and environment

- model," *Journal of Korean Society of Aeronautical & Space Sciences*, vol. 41, no. 7, pp. 577-587, Jul. 2013.
- [6] J. A. Hartigan, *Clustering Algorithm*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 1975.
- [7] M. N. Kim, J. S. Lim, G. S. Chae, S. H. Ye, and C. H. Ryu, "Simulation study on the multipath tracking errors," *Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society*, vol. 10, no. 9, pp. 2274-2279, Sep. 2009.
- [8] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 2nd ed, Boca Raton, FL, Chapman & Hall/CRC, pp. 410-422, 2005.
- [9] M. Shbat, V. Tuzlukov, "Evaluation of detection performance under employment of the generalized detector in radar sensor systems," *Radioengineering*, vol. 23, no. 1,

- pp. 50-65, Apr. 2014.
- [10] B. Magaz, A. Belouchrani, and M. Hamadouche, "Automatic threshold selection in OS-CFAR radar detection using information theoretic criteria," *Progress in Electromagnetics Research B*, vol. 30, pp. 157-175, 2011.
- [11] Y. J. Kong, S. K. Woo, S. H. Park, S. H. Ryu, and Y. D. Kang, "Separation of adjacent targets using range-Doppler clustering method," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 20, no. 2, pp. 67-73, Apr. 2020.
- [12] B. Edde, *Radar Principles, Technology, Applications*, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, pp. 356-363, 1993.

공 영 주 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5382-0182>



2009년 3월: 성균관대학교 정보통신공학 (공학사)
2009년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리 등

문 현 옥 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9274-9929>



2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2007년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2016년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2014년 3월~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 레이더 성능분석, 전파전파, 무선채널 모델링 등

손 성 환 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9401-7182>



2004년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 2월: 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사)
2010년 8월: 인하대학교 정보통신대학원 (공학박사)
2011년 1월~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리 및 통제제어, 레이더 SW 등

유 동 길 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7093-5093>



2011년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터공학과 (공학사)
2011년 2월: 한양대학교 전자전기제어계측공학과 (공학석사)
2013년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 표적 추적, 레이더 데이터 처리 등

장 윤 희 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3363-7158>



1999년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)

2002년 2월: 중앙대학교 영상공학과 (공학석사)

2002년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리 등

양 은 정 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-4724-5542>



2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

2006년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리 등