

군집 비행 드론의 충돌 방지를 위한 UWB 레이더의 속도 감응형 CFAR 최적화 연구

이새미¹ · 문민정¹ · 천형일¹ · 이우경^{2*}

Adaptive CFAR implementation of UWB radar for collision avoidance in swarm drones of time-varying velocities

Sae-Mi Lee¹ · Min-Jeong Moon¹ · Hyung-Il Chun¹ · Woo-Kyung Lee^{2*}

¹Graduate Student, Department of Electronic and Information Engineering, Korea aerospace university, Goyang, 10540 Korea

^{2*}Professor, Department of Electronic and Information Engineering, Korea aerospace university, Goyang, 10540 Korea

요 약

본 연구에서는 군집 드론 시스템에서 이동 드론의 충돌방지를 위해 레이더를 도입하였다. 드론은 비행 중 불규칙한 속도 변화로 인해 반사파의 클러터가 증가되어 탐지 성능이 저하되고 이로 인해 충돌 방지 레이더의 성능에 영향을 준다. 본 논문에서는 UWB(Ultra Wide-Band) 레이더를 적용하여 비행하는 드론을 탐지하고, 반사파 신호 분석을 통해 획득한 거리 및 속도 정보의 정확도를 개선하는 방안을 제시한다. 이동 드론의 속도 변화에 따른 속도 감응형 CFAR(Constant False Alarm Rate)를 구현하여 오경보율을 일정하게 유지하면서 클러터를 효과적으로 제거하는 방안을 구현한다. 알고리즘의 검증을 위해 실제 상용 드론에 대한 레이더 관측 실험을 수행하고 불규칙하게 비행하는 드론의 탐지 성능이 개선됨을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, Ultra Wide-Band(UWB) radar sensor is employed to detect flying drones and avoid collision in dense clutter environments. UWB signal is preferred when high resolution range measurement is required for moving targets. However, the time varying motion of flying drones may increase clutter noises in return signals and deteriorates the target detection performance, which lead to the performance degradation of anti-collision radars. We adopt a dynamic clutter suppression algorithm to estimate the time-varying distances to the moving drones with enhanced accuracy. A modified Constant False Alarm Rate(CFAR) is developed using an adaptive filter algorithm to suppress clutter while the false detection performance is well maintained. For this purpose, a velocity dependent CFAR algorithm is implemented to eliminate the clutter noise against dynamic target motions. Experiments are performed against flying drones having arbitrary trajectories to verify the performance improvement.

키워드 : 클러터 제거, UWB 레이더, LMS 필터, 속도 적응형 CFAR, 드론 탐지

Keywords : Clutter rejection, UWB radar, LMS filter, Velocity dependent CFAR, Drone detection

Received 15 December 2020, Revised 11 January 2021, Accepted 18 January 2021

* Corresponding Author Woo-Kyung Lee(E-mail:wkleee@kau.ac.kr, Tel:+82-2-300-0149)

Professor, Department of Electronic and Information Engineering, Korea aerospace university, Goyang, 10540 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.3.456>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 드론으로 대표되는 무인비행체 산업이 군사용 뿐만 아니라 방송, 취미, 민간분야까지 다양한 분야로 빠르게 확대되고 있다. 활용 분야가 확대되면서 무분별한 드론 사용으로 인해 공항이나 산업 기반 시설에서 사고가 반복적으로 발생하고 있으며 나아가 테러, 범죄 등의 문제도 제기되고 있다. 이에 따라 특정 공역에 들어온 드론 비행체를 탐지하고 추적하는 기술의 중요성 또한 강조되고 있다[1].

반면 드론 개발은 소형화 및 군집형으로 급속히 발전하고 있으며 미래 전장에서의 드론 활용은 다중 군집을 통해 작전을 수행하는 방식이 될 것으로 전망된다. 현재 개발되는 대부분의 드론 탐지 기술은 대체로 지상에서 드론을 탐지하는 용도로 활용되고 있으나 향후 군집 드론을 활용하는 시나리오에서는 드론과 드론 간의 충돌을 방지할 수 있는 탐지 시스템의 중요도가 매우 높아질 것이다[2].

일반적인 드론 탐지 시스템은 날씨와 무관하게 주간 표적 탐지가 가능한 레이더를 기반으로 구축된다. 레이더 장비는 가격이 높고 고출력 신호 생성을 위해 무게 및 부피가 증가하는 이유로 드론에 장착하기 어렵다. 펄스 레이더에 비해 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더는 비교적 소형화가 가능하다. 하지만 휴지 시간 없이 연속으로 신호를 생성하여 배터리 소모가 크고 따라서 장시간 운용이 어렵다[3].

본 연구에서는 UWB를 기반으로 하는 레이더를 활용하여 비행 중인 군집 드론에서의 충돌 방지 및 장애물 탐지에 적용하는 방안을 제시한다. UWB는 극히 짧은 펄스 신호를 사용하여 소모 전력을 줄이고 따라서 장시간 물체 탐지를 가능하게 하여 드론에 장착하여 운용이 가능하다. 특히 수 나노 이하의 펄스폭을 사용하여 높은 분해능을 확보하고 근거리에서도 운용할 수 있어 드론 간의 정밀 거리 측정에 적합하다[4].

일반적으로 UWB 레이더는 초저전력의 신호를 사용하므로 잡음이나 클러터 성분에 취약하게 된다. 드론을 감지하기 위해서는 미약한 반사 신호를 클러터 잡음 신호로부터 구별하여 분리하는 과정이 필요하다. 표적 탐지 및 정밀 거리 측정을 위해서는 수신된 비관심영역의 신호잡음을 제거하여 표적 탐지 신호만을 추출하는 시나리오가 구현되어야 한다[5].

드론과 같이 미세한 표적이 이동할 때 발생하는 반사파는 가변적인 잡음과 구분이 어려워지고 따라서 클러터 잡음 환경에서 표적을 추출하기 위해 사용하는 CFAR 알고리즘의 성능이 저하된다[6-9]. 본 논문에서는 이동 중인 드론의 속도 변화에 따른 적응형 CFAR 최적화 기법을 제안한다. 2장에서는 속도 적응형 CFAR 기법을 수치적으로 분석하고 전체 구조를 설명한다. 3장에서는 UWB 레이더를 이용하여 다양한 잡음 환경에서 이동 드론을 탐지하는 실험을 수행한 후 제안된 기법을 적용하여 결과를 분석한다.

II. 본 론

2.1. 알고리즘 개요

저전력의 레이더 수신 신호에서 표적을 검출하기 위해서는 배경 잡음을 최대한 낮추면서 동시에 대상 표적에 대한 적절한 임계값을 설정해야 한다. 표적이 이동하는 동적 환경에서는 신호 대 잡음비를 상수로 할 경우 표적의 위치나 방향각에 따라 탐지 성능이 수시로 변한다.

LMS(Least Means Square) 필터는 지속적인 신호의 관측을 통해 동적 환경에서 잡음 제거에 용이하여 단순 탐지 알고리즘에 널리 활용된다[5]. 설정된 임계값을 바탕으로 잡음 신호의 상대적 크기를 감지하고 이에 비례하여 다음 수신 신호의 잡음을 추정하여 제거한다.

미지의 수신 신호 $u(n)$ 에 적절한 가중치 벡터 $w(n)$ 를 적용하고 이를 임의의 추정 신호 $d(n)$ 와 비교하면서 두 신호의 오차 $e(n)$ 의 크기를 최소화하는 과정을 반복하게 된다. 오차 $e(n)$ 은 수식 (1)과 같이 표현되고 새로운 가중치 벡터를 구하는 연산은 수식 (2)와 같다. μ 는 새로운 가중치를 찾기 위한 업데이트 필터 계수이며 n 은 필터 추정 연산의 반복 횟수이다.

$$e(n) = d(n) - w(n) \cdot u(n), n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$w(n+1) = w(n) + \mu e(n)u(n), n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

CA(Cell Averaging) CFAR는 수신 신호에서 표적 주변 셀의 간섭 레벨을 추정하고 이 추정치를 이용하여 중앙에 있는 관심 셀의 표적 탐지 여부를 결정한다. 이때 잡음전력의 추정치는 피시험 셀 CUT(Cell Under Test)에 이웃하는 가드 셀(Guard Cell)들로부터 추출된다. α 을 임계 계수, P_n 을 잡음 전력 추정치라고 할 때 감지

임계값 T 는 다음과 같다.

$$T = \alpha P_n \quad (3)$$

이때 피시험 셀의 각 샘플 x_k 와 셀 구간 $2N$ 에 대해 n 번째 셀의 잡음 추정치는 다음과 같다. 여기서 N 은 클러터 환경에 따라 그 범위가 가변적으로 선택될 수 있다.

$$P_n = \frac{1}{2N} \sum_{k=1}^{2N} x_k \quad (4)$$

고정된 장애물이나 느리게 이동하는 표적에서는 잡음 및 신호 값의 변화가 크지 않아 그 변화 속도가 느리지만, 표적이 빠른 속도로 이동할 경우 충분히 임계값 추정 과정에서 속도값이 변하는 경우가 발생하고 이에 따라 오류가 발생할 가능성이 증가한다. 특히 드론과 같이 불규칙한 속도 변화 범위가 증가하면 정확도가 더욱 낮아져 성능이 저하된다. 본 논문에서는 드론과 같이 속도 변화가 불규칙한 표적에 대한 탐지 성능을 개선하기 위해 피탐지 드론의 속도에 따른 N 의 범위를 조절하고 추가로 최적 필터의 가중치를 설정해 CFAR 성능을 개선하는 속도 감응형 알고리즘을 구현한다.

2.2. 속도 감응형 CFAR 알고리즘

표적의 속도 정보에 따라 구간 값을 설정하고 이때 최소의 잡음전력이 되는 필터의 가중치를 업데이트하면 최적의 신호를 도출할 수 있다. 본 논문에서는 CFAR의 기준치를 환경에 따라 변경시키기 위해 새로운 임계계수를 정의한다.

먼저 표적의 이동에 대응하기 위해 전체 신호 수집 시간 대비 CFAR에 적용하는 셀의 길이를 가변적으로 변경할 수 있도록 한다. 동적 환경에서 순간적으로 최적 잡음전력 추정구간인 $2N$ 을 속도에 비례하여 변경하도록 한다. m 번째 수신된 신호의 순간 속도 값이 V_m 으로 주어질 때 가중치 $1/\beta$ 을 적용한 구간을 $2N$ 으로 지정한다. 다음으로는 필터의 계수값에 대한 가중치를 지정한다. 식(2)에서 전체 셀에 대해 적용되는 최적 필터의 계수값 μ 을 고정값이 아닌 속도에 따라 가변적으로 변경하여 $\mu = V_m \gamma$ 로 지정한다. 여기서 γ 를 사용자가 최적화할 수 있도록 선택하며 실험적으로 최적의 가중치를 찾는다. m 번째 펄스에 의한 탐지거리를 R_m 이라고 할 때 추정 속도 V_m 은 수식 (5)와 같이 표현된다.

$$V_m = \frac{R_{m+1} - R_m}{(1/PRF)}, \quad m = 1, \dots, M \quad (5)$$

여기서 PRF(Pulse Repetition Frequency)는 펄스 반복주기이다. 이를 적용하면 식 (3)의 임계값은 다음과 같이 표적 속도를 반영하는 형식을 갖는다.

$$T' = \frac{\alpha}{V_m/\beta} \sum_{k=1}^{V_m/\beta} x_k \quad (6)$$

m 번째 펄스 신호가 입력될 때 최적 필터의 새로운 가중치는 다음과 같다. 이때 출력되는 신호 $y'(n)$ 은 수식 (8)과 같다.

$$w'(m+1) = w'(m) + \gamma V_m e'(m) u(m) \quad (7)$$

$$y'(n) = \sum_{k=1}^{V_m/\beta} w'(n) u(n-k), \quad n = 1, \dots, N \quad (8)$$

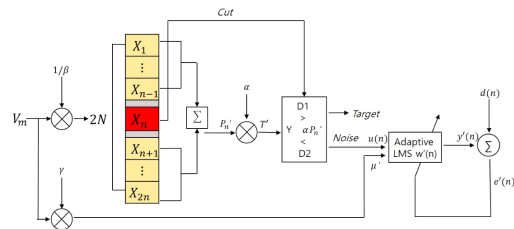


Fig. 1 Velocity dependent CFAR Block Diagram

그림 1은 속도 적응형 CFAR를 이용하여 검출한 잡음 전력에 대해 선택적으로 LMS 필터를 적용하는 과정의 전체 구성도를 보여준다. CUT 셀과 이웃한 영역에서 잡음전력의 추정치를 계산하고 이 추정치와 임계계수를 이용해 설정한 감지 임계값을 계산해서 대상 CUT셀과 비교하여 클러터 신호를 검출한다. 이렇게 클러터로 판단된 신호 $u(n)$ 은 LMS 적응 필터를 통과하여 적절한 가중치를 이용해 클러터가 제거된 최적의 신호 $y(n)$ 으로 출력된다. 이 과정은 윈도우 내에 주어지는 모든 셀에 대해 재귀적으로 반복된다. 보상된 신호는 잡음 신호의 평균치를 매시간 업데이트하며 표적신호로부터 클러터를 효과적으로 구분하고 따라서 효율적인 LMS 적용 환경을 조성한다. 본문 III에서는 제안된 기법과 기존 LMS 필터의 실제 수행 결과에 대해 비교 분석을 보여준다.

III. 드론 탐지 실험 결과 분석

3.1. 정지 드론 반사파 CFAR 적용 결과

야외에서 수행된 드론탐지 실험은 Xethru사의 X4M06 UWB 레이더를 이용하였다. 그림 2는 실험 환경을 나타내고 표 1은 사용한 레이더 시스템의 제원을 보인다. 송신부에서 4.1dBm의 저전력 펄스 신호를 드론에 송신하면 드론에서 반사된 신호를 안테나에서 이득 6.75dB, 빔폭 65도로 수신한다. 본 실험은 10m 이내의 근거리에서 8.75GHz 대역의 중심주파수를 가지는 펄스 신호를 사용하였다. 표 1은 레이더 시스템의 제원을 보인다.

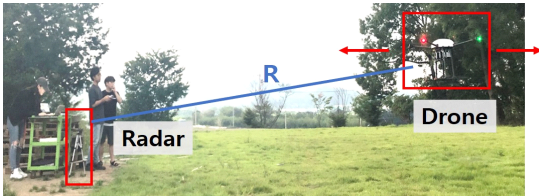


Fig. 2 Field test for drone detection using UWB radar

Table. 1 Radar system parameters

Parameters	Values
Bandwidth	1.5 GHz
Center Frequency	8.75 GHz
PRF	15 - 40.5 MHz
Resolution	0.1 m
Transmitted power	4.1 dBm
Antenna Gain	6.75 dB
Azimuth and Elevation Angle	65°

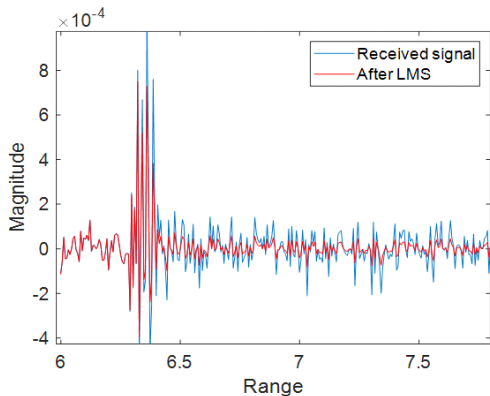


Fig. 3 Comparison of raw signal and signal processed by LMS

그림 3은 정지된 드론에 대한 탐지 실험을 수행한 후 수집된 수신 신호에 LMS 적응 필터를 적용한 결과를 보인다. 드론이 감지된 표적 신호 밖의 영역에서는 우수한 클러터 억제 효과가 확인되나 드론이 감지된 영역에서는 표적의 선명도가 높지 않다. 이는 가우시안 형태의 UWB 펄스의 위상 변화에 의해 LMS 필터의 성능이 최적화되지 못한 결과라고 할 수 있다.

이에 대응하기 위해 CFAR를 기반으로 임계 기준치를 재설정하여 실험을 수행하였다. 먼저 CFAR 잡음전력 추정 구간 값의 변화에 따른 클러터 제거 효율을 분석하기 위해 정지된 드론 반사파에 대해 CFAR 기법을 적용하였다.

그림 4는 표적으로 추정되는 셀을 기준으로 주변 가드 셀 구간을 각각 $\pm 0.21[\text{ns}]$, $\pm 0.42[\text{ns}]$, $\pm 0.63[\text{ns}]$ 로 설정하고 각 구간에 해당하는 잡음전력의 추정치에 따라 감지 임계값을 다르게 설정한 결과를 보인다. 그림 4(a)처럼 가드 구간이 좁은 경우 탐지 신호를 잡음으로 검출하여 표적 탐지에 실패하고, 반면 그림 4(c)와 같이 넓어지면 표적 주변의 클러터 노이즈 성분이 제거되지 않는 문제가 발생한다.

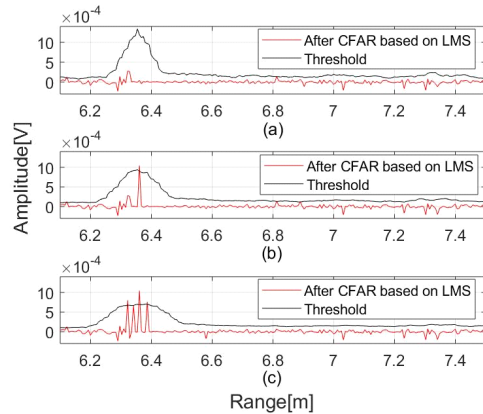


Fig. 4 Clutter suppression in return signals from the static drone target through CFAR implementation with variable TCFAR (a) TCFAR = $\pm 0.21\text{ns}$ (b) TCFAR = $\pm 0.42\text{ns}$ (c) TCFAR = $\pm 0.63\text{ns}$

반복된 실험에서 그림 4(b)에서 보인 바와 같이 약 $0.42[\text{ns}]$ 의 가드 구간 설정 시 가장 탐지 성능이 좋은 것으로 확인되었다. 적절한 가드 구간은 표적과 레이더 신호의 특성에 의해 결정되는데 드론이 정지하지 않고 이동하는 경우 요구되는 최적 감지 임계값은 고정된 값이 아니며 시나리오에 따라 변화가 필요하다.

3.2. 이동 드론 반사파 CFAR 적용 결과

동적 환경에서의 레이다 수신 성능을 측정하기 위해 드론을 수평 방향으로 이동시키면서 동일한 실험을 수행하였다. 드론 반사파는 레이다 입사각에 따라 반사도 변화 폭이 크다. 특히 저속으로 이동하는 경우 요동이 심해져 반사 신호 강도 변화는 비례하여 증가한다. 앞서 수행된 정지된 드론에 대한 실험에서는 임계치를 고정 하더라도 우수한 탐지 성능을 보였으나 이동하는 드론에서는 반사 신호의 가변성이 증가하여 임계치 설정이 어려워진다. 이를 확인하기 위해 실제 드론을 수평 방향으로 이동하면서 수신 신호를 측정하였다.

그림 5는 레이다 장치로부터 멀어지는 드론에 대해 반사파를 수집하여 표적 탐지를 수행한 결과를 보인다. 드론과의 거리가 점차 멀어지면서 획득한 데이터를 그림 4와 같은 방식으로 클러스터를 제거하면서 CFAR를 적용하였다. 서로 다른 시나리오로 이동 중인 드론의 반사 신호에 대해 동일한 필터 임계치를 적용했을 때 탐지 성능에 편차가 발생하였는데, 이는 드론의 상대 거리 및 이동속도에 따른 수신 신호의 변화에 기인한다.

그림 5(a)는 드론이 정지된 위치에서 이동하기 위해 가속이 발생하는 구간으로서 속도 편차에 의한 불규칙성이 높아 수신단의 클러스터가 증가되었다. 반면 그림 5(b)와 5(c)는 속도가 비교적 일정하여 수신파가 안정된다. 그림 5에 적용된 필터는 그림 4에서처럼 거리 6m에서 정지해있는 드론에 대해 최적화되어 있다.

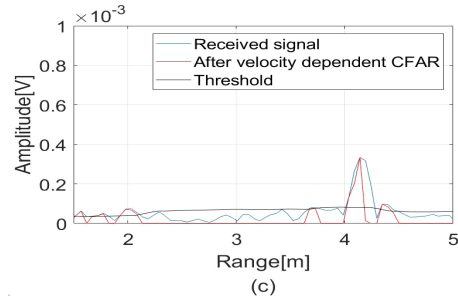
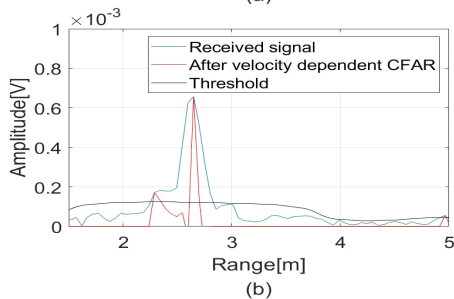
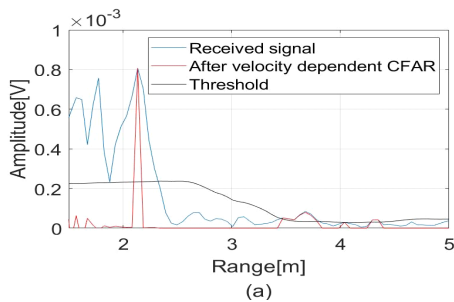


Fig. 5 Detection performance of CFAR applied to the return signals from drones of different ranges R (a) R = 2.13m (b) R = 2.65m (c) R = 4.14m

따라서 그림 5(c)와 같이 거리가 6m에 가까울수록 탐지 성능이 우수하나 그림 5(a)의 경우처럼 6m에서 벗어나갈수록 클러스터 제거 및 탐지 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 상대 거리에 따라 드론의 속도는 다른 분포를 나타내며 수신단 성능은 다른 방식으로 표현된다. 본 논문에서는 표적의 속도 변화가 발생하는 수신 환경에 대응할 수 있는 가변 필터를 적용한다.

3.3. 속도 감응형 CFAR 적용 결과

서로 다른 시나리오에서 수집된 데이터에 최적의 수신 필터 변수를 추정하기 위해 서로 다른 3가지의 시나리오에서 산출된 데이터에서 드론의 속도 값을 추정하였다. 수신 데이터가 20Hz의 속도로 저장될 때, 각 구간에서의 위치 변화를 계산하는 방식으로 드론의 순간 속도를 추정하였다. 표 2는 수신된 각 데이터를 이용해 예측한 드론의 시간에 따른 속도의 추정값을 보여준다. 서로 다른 위치에서 이동하는 표적에서 반사되어 돌아오는 3개의 서로 신호를 구분하였다. 이동하는 드론은 임의의 위치에서 서로 다른 순간 속도를 갖는데 초기 구간에서는 가속도가 높고 멀어질수록 속도가 일정하게 수렴한다.

Table. 2 Estimated velocity of moving drones

Data	Time [s]	Velocity [m/s]
I	0	0.02
II	3.45	0.37
III	6.85	0.47

낮은 속도를 갖는 Data I의 드론 반사 신호에 대해 서로 다른 구간 값과 가중치를 설정했을 때 각각의 결과를 그림 6에서 비교한다. 앞 절에서 설명한 β, γ 를 서로 다

르게 설정하여 최적 신호를 도출하는 방식을 사용하였다. 정지 드론 시나리오와 비교하기 위해 그림 6(a)는 그림 3의 반사파에 적용한 임계 계수값과 동일한 필터를 적용한 결과를 보인다. 정지 드론의 경우와 다르게 클러터가 제거 효과가 낮아 필터의 최적화가 안 되었음을 알 수 있다. 이를 개선하기 위해 β, γ 를 변화시키면서 결과를 비교하였다. Data I는 드론 속도가 0.02로 상대적으로 낮은 구간이므로 β 값을 줄여가면서 성능을 측정하였고 약 1.01×10^6 으로 감소될 때까지 성능이 개선됨을 확인하였다. 상대적으로 느린 속도를 보상하기 위해 γ 를 증가시켜 데이터 샘플 구간을 늘리면서 성능을 측정하였다. γ 가 처음 8.19×10^8 에서 2.46×10^9 으로 증가시킬 때 점차 클러터 제거 효과가 증가함을 확인하였다. 그림 6(b)는 β 만 조정했을 때의 결과이고 그림 6(c)는 γ 값만 변화시켰을 때의 파형이며, 그림 6(d)는 두 임계 계수를 모두 변화시켜 최적의 신호가 나타난 결과를 보인다.

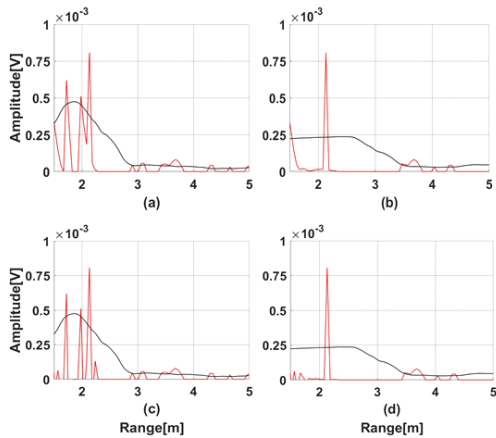


Fig. 6 Clutter Rejection Performances vs. β and γ values
 (a) $\beta=2.9 \times 10^6, \gamma=8.2 \times 10^7$ (b) $\beta=1.0 \times 10^6, \gamma=8.2 \times 10^8$
 (c) $\beta=2.9 \times 10^7, \gamma=2.5 \times 10^8$ (d) $\beta=1.0 \times 10^6, \gamma=2.5 \times 10^8$

같은 방법으로 Data II와 Data III에 적용하여 각 데이터 구간에서의 속도에 따라 구간 값과 가중치를 이용하여 최적의 임계치를 설정한 결과를 그림 7에 보인다. 각 데이터의 클러터 제거율이 최대가 되는 가변 값 β, γ 를 찾아 적용했을 때 표적 탐지 성능이 최적화됨을 확인하였다. 이와 같은 이동 드론의 속도 값을 반영한 CFAR 기법을 적용함으로써 클러터 잡음 수치를 더욱 낮추게 되는데 이는 그림 4와 비교했을 때 더욱 명확하게 확인

된다.

3.4. 클러터 제거 성능 분석

획득된 CFAR 최적화 필터의 성능을 정량적으로 분석하기 위해 신호 대 클러터 비 (Signal to Clutter Ratio : SCR)를 이용하여 효율을 비교하였다. 정량적 성능 산출을 위해 수신 레벨이 표적 검출값의 3dB 이하가 되는 지점을 클러터로 정의하여 신호와 클러터의 상호 비를 시나리오별로 산출하였다.

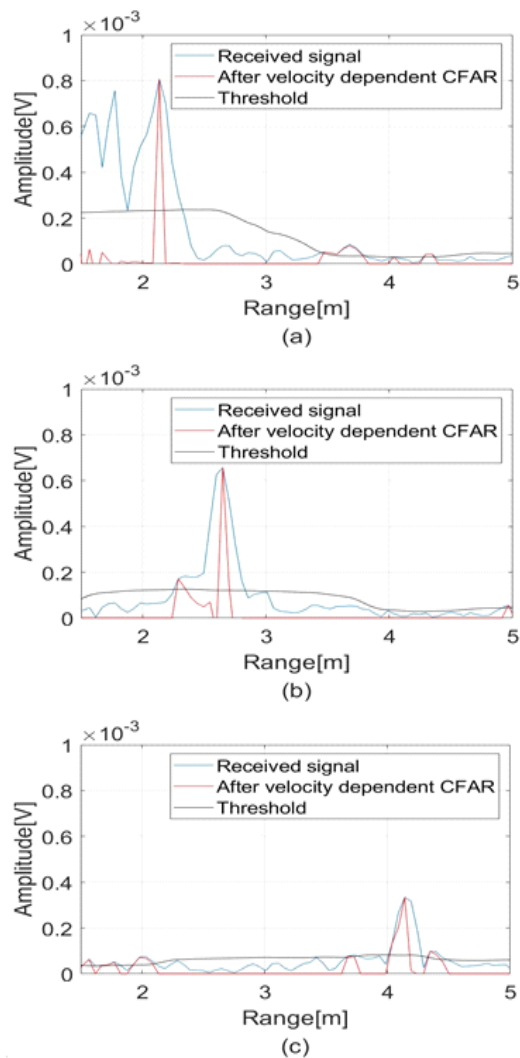


Fig. 7 Velocity dependent CFAR implementation on the return signals from drones (a) $\beta=1.0 \times 10^6, \gamma=2.5 \times 10^8$
 (b) $\beta=16.1 \times 10^6, \gamma=0.3 \times 10^8$ (c) $\beta=20.5 \times 10^6, \gamma=0.5 \times 10^8$

표 2의 3가지 시나리오에서 1) CFAR 미적용, 2) 기존 CFAR 적용, 3) 속도 적응형 CFAR 적용한 경우에 대해 각각 SCR을 측정하였으며 결과는 표 3과 같다. 기존 CFAR가 적용되기 전과 후를 비교하면 시나리오별로 5dB ~ 20dB까지의 SCR 이득을 보인다. 반면 속도 적응형 CFAR를 적용하면 시나리오에 따라 기존 CFAR 기법에서 추가적으로 10~20 dB의 SCR 이득을 얻을 수 있었다. 특히 드론의 이동속도가 큰 Data I의 시나리오에서 이득이 높은 것을 확인할 수 있다. 이처럼 급작스러운 드론의 움직임에 신속하게 대처하기 위해서는 속도 적응형 CFAR가 매우 효과적인 성능을 제공할 수 있다.

Table. 3 SCR performance analysis

Data	I	II	III
Before CFAR [dB]	36.7	18.1	9.9
After CFAR [dB]	41.5	37.6	22.0
After velocity dependent CFAR [dB]	66.7	47.2	33.5

이러한 이득은 속도 감응형 LMS CFAR 필터가 높은 속도에 의한 신호 분산을 억제하는 효과 때문이라고 할 수 있다. 그림 8은 속도 감응형 필터의 적용 전과 후의 신호에 대한 주파수 분석 결과를 보인다.

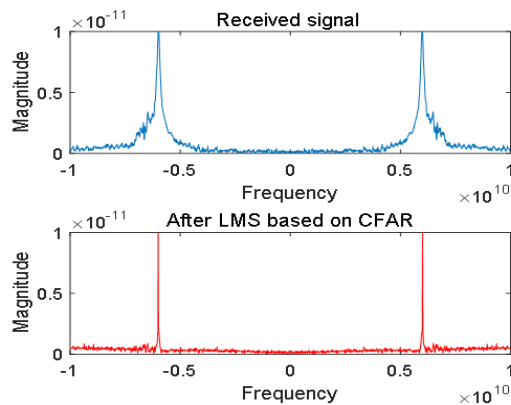


Fig. 8 Doppler characteristic of drone detected signals before and after velocity dependent CFAR

그림 8의 상단 그래프를 보면 드론의 이동으로 도플러 효과가 주파수 영역에서 분산된 형태로 나타나는 반면 속도 감응형 CFAR가 적용된 하단 그래프에서는 이러한 도플러 분산 효과가 제거되어있다. 이처럼 속도에 의한 신호 분산이 억제됨으로써 속도 감응형 필터의 성

능이 개선되는 것으로 추정할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 정지 혹은 이동하는 드론을 UWB 레이다로 탐지하는 실험을 수행하였다. 잡음 신호가 포함된 드론 탐지 신호를 CFAR 기반의 속도 적응 필터 알고리즘에 적용하여 클러터를 제거하였다.

이를 위해 신호 잡음으로부터 표적 신호를 구분하고, 속도를 추출한 후 검출된 신호 잡음에 선택적으로 속도 적응 필터를 적용하여 클러터를 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 배경 잡음 신호를 효율적으로 제거하고 드론 표적 신호의 탐지 구간을 좁혀 복잡한 운동 특성을 갖는 드론 표적의 탐지 정확도를 개선하였다. 실제 실험을 통해 획득한 데이터를 적응 필터를 이용한 클러터 제거 과정에 대입하여 그 결과를 수치적으로 분석하였다. 드론과 같은 복잡한 표적을 대상으로 안정된 성능을 갖는 알고리즘을 구현하기 위해서는 CFAR 필터 적용 전과 후의 신호 잡음 지수를 계산하고, 드론의 속도에 따라 가변적인 신호처리 구간을 설정해야 함을 검증하였다. CFAR 기법을 사용하여 선택적 영역에 대해 잡음 추정치를 도출하고 오경보율을 일정하게 유지하는 과정을 구조적으로 분석하였다.

펄스폭이 좁은 UWB 신호는 도플러 기반의 속도 추정이 어렵기 때문에 클러터 제거 알고리즘을 통한 거리 정확도 개선은 속도 추정의 정확도가 향상되었으며 이는 속도 적응형 CFAR 구현 활용도를 높게 된다. 본 연구는 근거리 드론 간의 불규칙적인 운동을 선제적으로 포착하는 알고리즘에 적용되어 향후 군집 드론에서 발생할 수 있는 충돌 현상을 방지하기 위한 목적으로 활용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by Civil-Military Technology Cooperation Program for the grant project of “UWB radar sensor development for collision avoidance and altitude measurement of Drone swarm and Auto Landing”.

REFERENCES

[1] Á. D. de Quevedo, F. I. Urzaiz, J. G. Menoyo, and A. A. López, "Drone detection and radar-cross-section measurements by RADAR," in *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 13, no. 9, pp. 1437-1447, 2019.

[2] B. K Kim, J. Park, S. J. Park, T. W. Kim, D. H. Jung, D. H. Kim, T. Kim, and S. O. Park, "Drone Detection with Chirp Pulse Radar Based on Target Fluctuation Models," *ETRI Journal*, vol. 40, no. 2, pp. 188-196, 2018.

[3] J. Drozdowicz, M. Wielgo, P. Samczynski, K. Kulpa, J. Krzonkalla, M. Mordzonek, and Z. Jakielaszek, "35 GHz FMCW drone detection system," In *2016 17th International Radar Symposium (IRS)*, IEEE, pp. 1-4, 2016.

[3] R. Nakamura, H. Hadama, and A. Kajiwarara, "Ultra-wideband radar reflectivity of a drone in millimeter wave band," *IEICE Communications Express*, vol. 13, no. 4, pp. 341-346. 2018.

[4] Y. Yoon, S. Lee, B. Lee, S. Kim, and C. Lee, "Enhanced clutter removal and peak detection methods for localization using IR-UWB radar," *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp. 313-317, 2017.

[5] G. Lee, S. Gang, and U Lee, "Radar image interfering signal removed using the LMS adaptive filter," *The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 2, pp. 3-9, 2014.

[6] S. Chen and X. Li, "A new CFAR algorithm based on variable window for ship target detection in SAR images," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 779-786, 2019.

[7] M. Ezuma, O. Ozdemir, C. K. Anjinappa, W. A. Gulzar, and I. Guvenc, "Micro-UAV Detection with a Low-Grazing Angle Millimeter Wave Radar," *2019 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, Orlando, FL, USA, pp. 1-4, 2019.

[8] B. Lee, S. Lee, Y. Yoon, K. Park, and S. Kim, "Adaptive clutter suppression algorithm for human detection using IR-UWB radar," *2017 IEEE SENSORS, Glasgow*, pp. 1-3, 2017.

[9] S. Yoo, S. Chung, D. Seol, and S. H. Cho, "Adaptive Clutter Suppression Algorithm for Detection and Positioning using IR-UWB Radar," *9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS)*, Odessa, pp. 40-43, 2019.



이새미(Sae-Mi Lee)

2016년 03월~2020년 08월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 학사과정(공학사)
 ※관심분야: 위성전자, 레이더 탑재체, SAR 신호처리



문민정(Min-Jung Moon)

2016년 2월: 한서대학교 항공전자공학과(공학사)
 2019년 2월: 한국항공대학교 항공전자정보공학과(공학석사)
 ※관심분야: SAR 신호처리, SAR원격탐사, 위성전자 레이더 탑재체



천형일(Hyung-II Chun)

2019년 2월: 목원대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2019년 3월~현재: 한국항공대학교 전자 및 항공 전자공학과 (공학석사)
 ※관심분야: 레이더 신호처리, SAR 신호처리



이우경(Woo-Kyung Lee)

1994년 2월: KAIST 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: KAIST 전자공학과 (공학석사)
 1999년 12월: 런던대학교 전자공학과 (공학박사)
 1999년 9월 ~ 2002년 12월: KAIST 인공위성 연구센터 연구교수
 2003년 1월 ~ 2004년 8월: 삼성종합기술원 연구원
 2004년 9월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 ※관심분야: 레이더 신호처리, SAR 시스템 및 영상처리, 위성 및 무인기 탑재체