

FOD 탐지 FMCW 레이다에서 지면 클러터 모델링 및 탐지성능에 대한 영향 분석

송승언 · 김봉석 · 김상동 · 김민수 · 김윤섭 · 이종훈[†]

Ground Clutter Modelling and Its Effect of Detection Performance in FOD FMCW Radar

Seungeon Song · Bong-seok Kim · Sangdong Kim · Minsoo Kim · Yoonseob Kim · Jonghun Lee[†]

ABSTRACT

This paper deals with ground clutter model for FOD (foreign object debris) surveillance FMCW (frequency modulated continuous waveform) radar. In the FOD surveillance radar, it has received not only the signals reflected by FOD, but also the clutters of the surface of the runway and the grassland simultaneously. However, to detect the FOD, the clutter rejection algorithm is necessary because the RCS (radar cross section) of FOD is nearly same to RCS of the grassland. In addition, it is difficult to apply the MTI (moving target indicator) algorithm as the clutter rejection algorithm because both the FOD and the clutter coexist stationarily. Hence, to remove the stationary clutter, it is crucial to accurately generate clutter map considering the surface of road. In this paper, in order to generate the clutter map, the respective beat signal at every range bin is generated in the case of only the surface without FOD, and then the beat signal accumulated 100 times. And also, Weibull distribution is applied to the RCS value to take the scattering distribution of clutter into consideration. The simulation results show that FOD can be well detected by applying the generated clutter map to the FOD FMCW radar.

Key words : FMCW, FOD, radar, ground clutter, modelling, Weibull distribution, clutter map

요약

본 논문에서는 FOD (foreign object debris) FMCW (frequency modulated continuous waveform) 레이다에 대한 지상 클러터 모델링 및 검출 성능에 미치는 영향을 분석한다. 레이다 수신신호에는 FOD에 의해 반사된 신호 뿐 만 아니라 활주로 표면 및 잔디영역에 의해 반사된 신호까지 포함된다. FOD의 RCS (radar cross section)가 잔디영역의 RCS와 거의 같기 때문에 클러터 제거 알고리즘을 적용하지 않으면 FOD의 검출이 어렵다. 또한, FOD와 클러터 모두가 움직이지 않기 때문에, 대표적 클러터 제거 알고리즘인 MTI (moving target indicator) 기법의 적용이 어렵다. 따라서 클러터 맵을 이용한 클러터 제거 기법이 필요하고, 이를 위해서는 활주로 표면을 고려한 클러터 맵을 정확하게 생성하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 신뢰도 높은 클러터 맵을 생성하기 위해 FOD가 없는 표면의 경우에만 모든 범위의 레인지 빈에 대해 각각의 비트 신호를 생성하고, 생성된 비트 신호를 100번 누적하였으며 RCS 값에 웨이블 분포를 적용하였다. 시뮬레이션 결과는 생성된 클러터 맵을 FOD FMCW 레이다에 적용함으로써 FOD가 제대로 검출됨을 보인다.

주요어 : FMCW, FOD, 레이다, 지면 클러터, 모델링, 웨이블 분포, 클러터 맵

* 본 논문은 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비 지원(15ATRP-C108046-01) 및 과학기술정보통신부에서 지원하는 대구경북과학기술원의 기관고유사업(18-IT-01)에 의해 수행되었습니다.

Received: 11 October 2018, **Revised:** 15 November 2018, **Accepted:** 5 December 2018

[†] **Corresponding Author:** Jonghun Lee

E-mail: jhlee@dgist.ac.kr

Radar Lab., DGIST Research Institute of Convergence

1. 서론

FOD(Foreign object debris)란 항공기를 손상시킬 수 있는 부적절한 위치에 놓여 있는 모든 물체를 지칭한다^[1]. FOD에 의한 피해를 방지하기 위해, 일일 2~4회의 인력을 이용한 정기적 점검을 통해 FOD를 수집하고 있다. 하지만, FOD는 불시에 발생하므로 실시간 탐지가 가능해

야 한다²⁾. 따라서, FOD 탐지를 위해 카메라나, 레이더와 같은 다양한 센서들을 이용한 방법들이 진행되고 있다^{3,4)}. 센서들 가운데 레이더는 환경에 강인한 특성으로 인해 FOD 탐지를 위한 센서로 사용되고 있다^{5,6)}.

한편, 활주로에서 발견되는 대부분의 FOD는 볼트나 스페너 같은 금속 물질이며 크기 또한 매우 작기 때문에, 높은 해상도를 만족해야 한다⁷⁻⁹⁾. 해상도에 따라 레이더의 가격 또한 증가하므로, 설치해야 하는 레이더의 개수에 따라 설치비용의 차이가 매우 크다¹¹⁾. 따라서, 탐지 레이더의 최적의 설치를 위해서는, 탐지 레이더를 설치하는 이전 단계에서, 하나의 레이더가 커버할 수 있는 영역에 대한 레이더에 요구되는 성능을 미리 분석할 필요가 있다. 특히, 항공기 운영 시간과 안전 및 보안상의 문제로 공항 활주로에서 직접적으로 레이더 성능을 평가하는 데에는 현실적인 어려움이 존재하므로, FOD 탐지 레이더의 현장 배치 이전 단계에서의 레이더의 시스템을 모델링과 레이더의 성능에 영향을 미치는 클러터 특성에 대한 분석은 더욱 중요하다.

일반적으로, 레이더의 수신 신호에는 FOD의 정보뿐만 아니라 활주로 등과 같은 지면 특성에 의한 클러터 성분이 동시에 수신되기 때문에 이러한 클러터 성분은 FOD를 정확하게 탐지하는데 악영향을 미친다. 다양한 클러터 성분을 제거하는 대표적 방법으로 MTI(moving target indicator) 기술을 예로 들 수 있다. 클러터 신호는 주파수 스펙트럼에서 DC성분에 집중되어 있고, 움직이는 타겟은 주파수 스펙트럼에서 타겟의 속도에 의해서 도플러 주파수 성분을 가지게 된다. MTI기술은 도플러 주파수의 차이를 이용하여 클러터 성분을 제거하기 때문에 움직이는 타겟에 적용할 수 있는 기술이다. 하지만, FOD는 활주로 위에 정지된 물체이므로 MTI와 같은 클러터 제거 기술을 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서, 활주로 상에 있는 FOD의 탐지 성능을 높이기 위해서 활주로 상의 클러터 특성을 분석하고, 클러터 맵을 생성하여 클러터 성분을 제거하는 방법이 사용되어야 한다.

하지만, 현재까지, 펄스 레이더에 대한 지면 클러터 특성에 대한 분석이 진행된 바 있었으나^{10,11)}, FMCW 레이더에 대한 클러터 특성에 대한 분석은 현재까지 진행된 바가 없다. FMCW 레이더는 상대적으로 높은 전력효율과 낮은 복잡도 및 저렴한 비용의 장점 때문에, FOD 탐지 레이더 방식에서 적용되고 있다^{3), 4), 11)}.

본 논문에서는 FMCW 레이더의 성능 분석을 위해 지면 클러터 성분을 모델링하고 클러터 성분을 분석한다. 더욱이, 모델링한 클러터 특성을 적용하여, 레인지 빈에

다른 비트(beat) 신호를 생성하고 100회 누적하여 평균을 취함으로써 클러터 맵을 생성하였다. 특히, 지면의 산란체가 균등하지 않은 특성을 반영하기 위해 RCS 값에 Weibull 분포를 적용하였다. 모의 전산 실험을 통한 모델링을 기반으로 생성한 클러터 맵을 적용함으로써, FOD의 탐지 성능이 확연히 개선됨을 보였다.

2. FMCW 레이더 시스템 및 지면 클러터 모델링

2.1 FMCW 레이더 시스템 모델링

레이더는 타겟 및 클러터 등의 장애물에 의해서 되돌아오는 수신 신호를 통해서 타겟을 탐지한다. 레이더의 수신 전력 P_r 은 다음과 같은 레이더 방정식을 따른다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

여기서, P_t 는 레이더의 송신 신호 파워, G 는 송수신안테나 이득이며, λ 는 레이더의 파장, σ 는 타겟의 RCS, R 은 레이더와 타겟 사이의 이격거리이다. 그림 1과 같이, 본 논문에서는 톱니파(sawtooth wave)형태의 변조방식을 사용한다. 그림 1에서 f_c 는 레이더의 중심 주파수, T_m 은 주파수 변조 주기, f_{beat} ($=f_{RX}-f_{TX}$)는 수신주파수와 송신주파수간의 주파수차이를 나타내는 비트주파수(beat frequency) 또는 차주파수이다. 또한, τ ($=2R/c$)는 c 가 전파의 속도일 때, 레이더와 타겟 간의 왕복 지연 시간이고 B 는 FMCW chirp 신호의 sweep 주파수 대역폭이다.

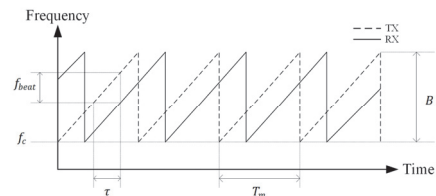


Fig. 1. FMCW radar waveform

FMCW 레이더는 타겟의 거리를 측정하기 위해서 거리에 비례하여 차주파수가 증가하는 특성을 이용한다. 차주파수는 수신 신호 $s_{RX}(t)$ 와 송신 신호 $s_{TX}(t)$ 를 통해서 얻을 수 있고, $s_{TX}(t)$ 와 $s_{RX}(t)$ 는 각각 다음과 같다.

$$s_{TX}(t) = A_{TX} \exp(j2\pi f_c t + j\pi \mu t^2) \quad (2)$$

$$s_{RX}(t) = A_{RX} \exp(j2\pi f_c(t-\tau) + j\pi\mu(t-\tau)^2) \quad (3)$$

여기서 μ 는 변조율로서 $\mu = B/T_m$ 이고, A_{TX} 와 A_{RX} 는 각각 송신 신호와 수신 신호의 진폭이다. 차신호 $s_{beat}(t)$ 는 $s_{TX}(t)$ 에 수신 신호의 켈레복소수 $s_{RX}^*(t)$ 를 곱함으로써 다음과 같이 계산된다.

$$s_{beat}(t) = s_{TX}(t) \times s_{RX}^*(t) = A \exp(j2\pi\mu\tau t) \quad (4)$$

여기서, A 는 차신호의 진폭성분으로 아래와 같이 계산된다.

$$A = A_{TX}A_{RX} \exp(j2\pi f_c\tau + j\pi\mu\tau^2) \quad (5)$$

차주파수 f_{beat} 는 차신호를 푸리에 변환한 후 첨두치 검출을 통해 얻을 수 있다. 식 (4)와 (5)에서 A 는 시간과 무관하므로 $f_{beat} = \mu\tau$ 를 이용하여 τ 를 얻고, 최종적으로 거리 $R = \tau c/2$ 를 계산함으로써 R 을 추정한다.

2.2 지면 클러터 모델링

클러터란 레이더에 원하지 않는 신호가 수신된 것이고, 지면 클러터는 다양한 클러터 성분 가운데 지표면의 반사에 의해서 수신되는 클러터 성분이다. 클러터의 반사 강도는 클러터의 RCS로 표현되며, 타겟의 RCS와 동일한 방식으로 정의된다. FOD 탐지 레이더는 그림 2와 같이 지표면을 향해서 조사하는 형태를 이루고 있다.

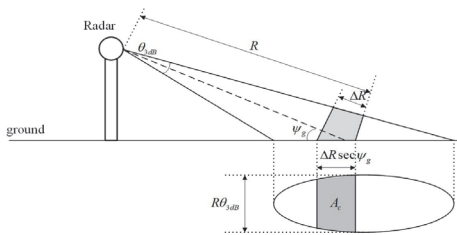


Fig. 2. Ground Clutter

그림2에서, ψ_g 는 지표각으로 레이더의 빔 중심과 지표면이 이루는 각이고, R 은 레이더와 지표면 사이의 거리이며, ΔR 은 대역폭에 의해 결정되는 거리해상도이고, θ_{3dB} 는 3 dB 빔폭이다. 일반적으로 지면 클러터의 RCS는 다음과 같이 정의된다¹²⁾.

$$\sigma_c = \sigma^0 A_C \quad (6)$$

여기서, σ^0 는 후방 산란 계수로서, 레이더로 다시 돌아오는 단위 면적당 레이더 반사 강도이며, 단위는 m^2/m^2 혹은 dB이다. 후방 산란 계수의 크기는 지표면의 재질과 굴곡에 따라 달라진다. A_C 는 클러터의 반사 면적으로 단위는 m^2 이다. FOD 탐지 레이더에서 반사 면적은 다음과 같이 근사화하여 표현할 수 있다¹²⁾.

$$A_C \approx R \theta_{3dB} \Delta R \sec \psi_g \quad (7)$$

일반적으로 FOD 레이더에서 타겟의 에코 신호는 지면의 에코 신호와 함께 수신되기 때문에 정지된 타겟의 에코 신호에서 지면의 에코 신호를 분리하기 위해서 반드시 지면 클러터 신호에 대한 정보가 필요하다. FMCW 레이더에서 타겟을 정확하게 탐지하기 위해서는 클러터 성분에 대한 모델링을 통해서 클러터 특성 분석이 필요하다.

클러터의 반사 면적은 레이더의 거리 해상도에 의해 결정 된다. FMCW 방식에서 거리 해상도 ΔR 는 다음과 같다¹³⁾.

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (8)$$

이에 따라 클러터 반사 면적은 식(7)과 식(8)을 활용하여 계산할 수 있다. FOD 탐지 레이더에서 고려되는 지면 영역은 그림 3과 같이 잔디 영역과 활주로 영역으로 나누어진다. 활주로 규정상 잔디의 높이는 활주로의 높이와 맞춰야 하므로 잔디의 높이는 고려하지 않았다(DOI).

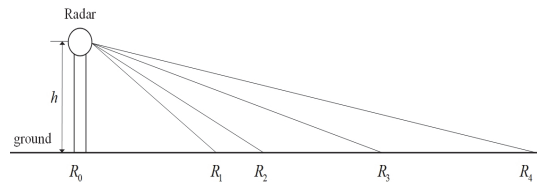


Fig. 3. Runway Model

그림 3에서 h 는 레이더의 높이, R_0 는 레이더의 위치, R_0 부터 R_1 은 사각지대(blind zone)으로 레이더의 빔이 닿지 못하는 영역이다. R_0 부터 R_2 까지는 잔디 영역, R_2 부터 R_3 까지는 활주로 영역, R_3 부터 R_4 까지는 다시 잔디 영역이다. R_4 는 빔 폭에 따라 위치가 결정된다. 본 논문에서는 h , $R_0 \sim R_4$ 의 값을 표 1과 같이 설정하였다²⁾.

Table 1. Parameters of runway model

Parameters	Value (m)
Radar height, h	6
Radar position, R_0	0
Blind zone, R_1	95
Grassland R_2	120
Runway, R_3	180
Grassland, R_4	273

FOD 탐지 레이더에서 지면 클러터의 RCS는 지표면의 재질과 굴곡에 따라 달라지며, 후방 산란 계수는 다음과 같고 단위는 dB이다.

$$\sigma^0 = A_1 + A_2 \log(\psi_g/20) + A_3 \log(f_G/10) \quad (9)$$

여기서, f_G 는 중심주파수로 단위는 GHz이다. 지표면의 종류를 나타내는 계수 $A_1 \sim A_3$ 는 표 2에서 보였다⁹⁾.

Table 2. Coefficients according to surface types

Surface type	Coefficients		
Grassland	A_1	A_2	A_3
Runway	-(25~30)	10	6
Blind zone, R_1	-49	32	20

활주로 영역은 잔디영역에 비해서 표면이 고르기 때문에 레이더 신호의 대부분이 레이더의 조사방향과 반대방향으로 반사되므로, 그림 4와 같이 활주로의 RCS는 잔디영역의 RCS에 비해서 매우 작다.

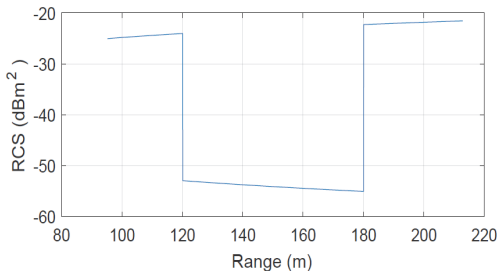


Fig. 4. RCS Simulation Result in the runway

3. 클러터 모델링을 통한 클러터 맵구성 및 클러터 제거 방법

클러터 반사 면적은 수많은 작은 반사체로 이루어진다. 이러한 반사체는 클러터의 반사 면적 내에 임의의 위치에 산재되어 있기 때문에 클러터는 특정한 확률 분포 형태로 모델링하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 지면 클러터를 웨이블 분포로 가정하였다¹⁵⁾. 지면 클러터는 정지되어 있는 대상물이기 때문에 움직임에 의한 도플러 주파수 성분은 모델에서 제외한다. FMCW 레이더의 시스템 파라미터는 표 3과 같다¹⁶⁾. 이와 같이 모델링된 클러터에 의한 수신 신호는 그림 5(a)와 같다.

Table 3. Parameters of radar system

Parameters	Value
Tx power (mW)	150
Center frequency (GHz)	94.5
Bandwidth (GHz)	0.6
Symbol duration (ms)	2.58
Sampling time (MHz)	6.35
Transmit antenna gain (dBi)	20
Receiver antenna gain (dBi)	20
Beamwidth (degree)	0.2

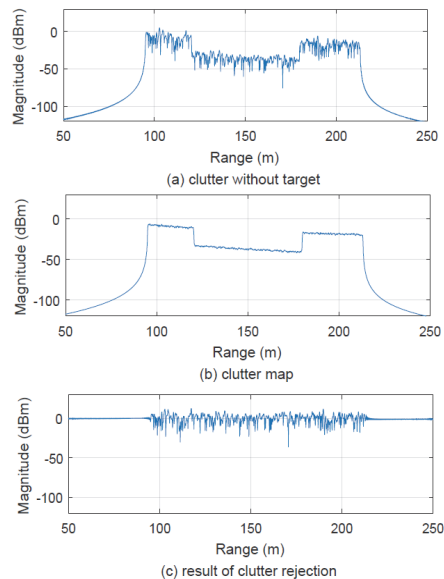


Fig. 5. Simulation results of the characteristics of the received signal with only surface clutter

레이다의 수신 신호는 클러터에서 반사되는 신호와 관심 목표물인 FOD에서 반사되어 돌아오는 신호를 동시에 수신된다. FAA AC 규정에 의하면 FOD 레이다의 최소 탐지 목표물은 RCS가 -20 dBsm인 FOD를 탐지하는 것을 요구하고 있고 클러터의 RCS는 -20 dBsm보다 높은 값을 가질 수 있기 때문에 레이다의 최종 탐지를 결정하기 위한 임계값을 결정하는 것이 상당히 어렵다. 즉, 레이다의 수신 신호는 목표물인 FOD신호가 클러터 신호 속으로 들어가 가려지는 현상이 일어난다. 이러한 클러터 특성의 영향을 줄이기 위해서 본 논문에서는 그림 5(b)와 같은 클러터 모델링을 기반으로 지면 클러터 맵을 구성한다.

본 논문에서 클러터 맵은 목표물인 FOD가 존재하지 않는 지면 클러터성분만 존재하는 경우에 대해서 FMCW 레이다의 차주파수를 100번 누적하여 산술평균값을 취하여 구성한다. 그런 다음, 수신 신호의 차주파수와 구성된 클러터 맵의 차이를 구함으로써 그림 5(c)와 같이 클러터

성분을 제거할 수 있다. 최종적으로, 수신 신호의 차주파수에서 임계치를 적용함으로써 목표물인 FOD를 탐지할 수 있다.

4. FMCW 레이다 탐지 성능 시뮬레이션

그림 6은 FMCW FOD 레이다 시뮬레이션의 동작 알고리즘이다. 입력 값의 정보, 거리 bin의 계산 방법, FFT를 수행하기 위한 조건, 생성한 클러터 맵의 갱신 여부 등에 대한 방법을 나타내고 있다. 그림 7(a)와 7(b)는 FMCW FOD레이다에서 지면클러터 성분이 반영된 경우와 지면클러터 성분이 제거된 경우의 거리 탐지 결과를 각각 나타내고 있다. 이때, 목표물인 FOD는 레이다로부터 160m 떨어진 활주로에 위치하고 RCS는 -20 dBsm이며, 이는 3cm×3cm 금속크기정도의 이물질에 해당되는 것이다. 그림 7(a)에서 볼 수 있듯이, FMCW FOD 레이다에서 FOD에 해당하는 신호의 크기는 활주로 주변의 잔디영역에 의한 지면 클러터에 해당하는 신호의 크기와 비슷해서, 최종 검출 대상인 FOD를 탐지하는데 필요한 임계치 설정에 상당한 어려움이 있다. 하지만, 그림 7(b)에서 볼 수 있듯이, FMCW FOD 레이다에서 지면 클러터 맵을 이용하여 지면클러터성분을 제거한 경우 활주루에 존재하는 FOD에 의한 신호는 주변의 클러터의 영향으로부터 벗어나 대략 8 dB이상의 명확한 침두 신호를 갖고 있는 것을 확인할 수 있다.

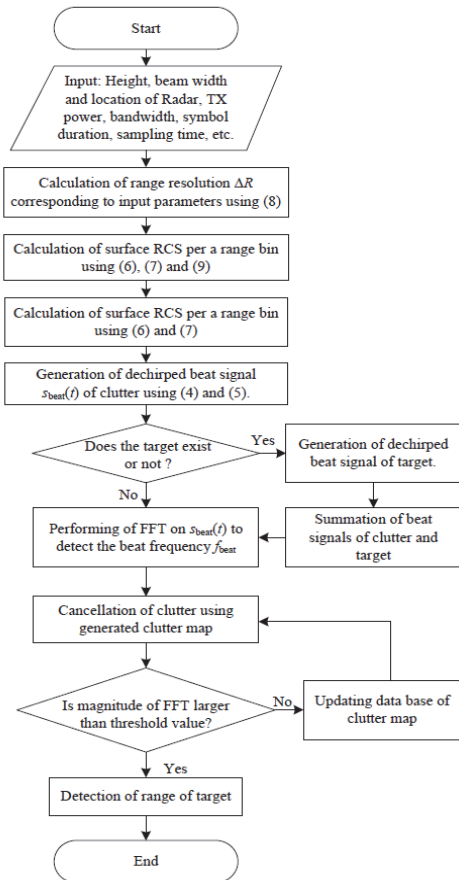


Fig. 6. Generation of surface clutter and clutter cancellation algorithm

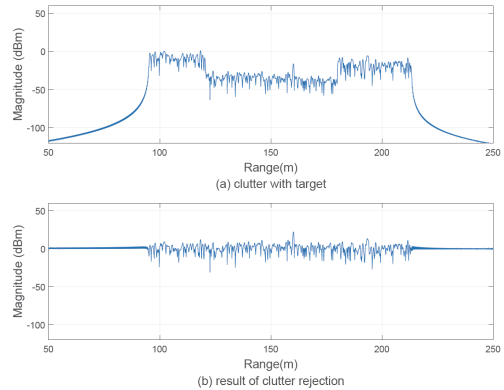


Fig. 7. Simulation results of the characteristics of the received signal with FOD and surface clutter

그림 8은 RCS에 따른 신호 대 클러터 비 (SCR: signal to clutter ratio)를 보인 결과이다. RCS가 낮은 경우 (RCS=-35 dBsm), SCR=1 dBm이므로 2 dBm 이상의

잡음이 더해질 경우 타겟 검출이 안 될 수 있는 문제점이 존재한다. 이와 같이, 검출 성능에 영향을 주는 다양한 요인들이 존재하므로, 최종적인 성능평가를 위해 시뮬레이터의 사용이 필수적임을 알 수 있다.

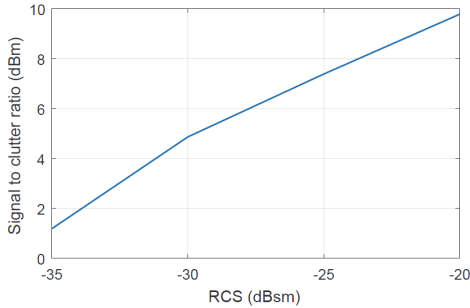


Fig. 8. Signal to clutter ratio according to RCS

5. 결론

본 논문에서는 FMCW FOD레이다에서 활주로 상에 존재하는 목표물인 FOD의 탐지 확률을 높이기 위해서 지면 클러터를 모델링하였다. 지면 클러터는 잔디 영역과 활주로 영역으로 구별되고, 각각 영역별로 지면의 재질과 곡률을 반영한 클러터 RCS로 모델링할 수 있었다. 또한, 지면 클러터의 모델링 결과는 FMCW FOD레이다에서 정지 목표물인 FOD를 탐지하기 위해서 반드시 필요한 클러터 맵에 활용하였다. 클러터 맵을 적용함으로써, 최종적으로, 활주로 상에 존재하는 크기가 3cm×3cm 크기의 원통형 금속 이물질에 해당되는 -20 dBsm의 FOD를 탐지할 수 있었다.

References

1. The Federal Aviation Administration (FAA), Airport Foreign Object Debris(FOD) Management, US Department of Transportation, Washington D.C., 2011.
2. J. Lee, Development of Automatic Detection System for Foreign Objects (FOD) in Runways, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, 2014.
3. Y.S. Jin, E.G Hyun, S.D. Kim, B.S. Kim, J.H. Lee, "Low Complexity FMCW Surveillance Radar Algorithm Using Phase Difference of Dual Chirps," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol 12, No 2, pp. 71-77, 2017.

4. E.E. Herricks, D. Mayer, S. Majumdar, Foreign Object Debris Characterization at a Large International Airport, US Department of Transportation, Washington D.C., 2015.
5. G. Mehdi, J. Miao, "Millimeter Wave FMCW Radar for Foreign Object Debris (FOD) Detection at Airport Runways," Proc. of 2012 9th International Bhurban Conference, pp.407-412, 2012.
6. H. Seo, H. Park, and K. Lee "Convenient Radar Received Power Prediction Method for North Korea SLBM Detection," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 26. No. 2, pp.51-58, 2017.
7. S. Ko, "Spectrum Analysis of UWB Radar Transmitter for Short Range Automobile Application," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol 10, No 2, pp. 57-64, 2015.
8. K.B. Lee, J.G. Lee, D.H. Kim, "A Study for Efficient Foreign Object Debris Detection on Runways," Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 22, No. 1, pp.130-135, 2014.
9. Z. Lili, W. Hong, W. Xuegang, "Non-Rayleigh Distribution Clutter Modeling of FOD Surveillance Radar on Runways," Proc. of 2013 IEEE International Conference, pp.1-4, 2013.
10. J. Zhang, C. Zheng, B. Yang, X. Yao, J. Miao, "Design Procedures and Considerations of FOD Detection Millimeter-Wave FMCW Radar," Proc. of 2013 IEEE International Conference, pp. 1612-1617, 2013.
11. B.S. Kim, S.D Kim, J.H. Lee, "Low Complexity Super Resolution Algorithm for FOD FMCW Radar Systems," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol 13, No 1, pp. 1-8, 2018.
12. B.R. Mahafa, "Radar System Analysis and Design Using MATLAB," CHAPMAN&HALL/CRC, Washington D.C., 2000.
13. H.H. Ko, K.W. Cheng, H.J. Su, "Range Resolution Improvement for FMCW Radars," Proc. of 2008 European Radar Conference, pp 352-355, 2008.
14. <http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000089849>.
15. C.H. Nam, S.W. Ra, "Approximated Modeling Technique of Weibull Distributed Radar Clutter,"

The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 23, No. 7, pp.822-830, 2012.

“Tarsier®, a Millimetre Wave Radar for Airport Runway Debris Detection,” Proc. of First European Radar Conference, pp. 261-264, 2004.

16. P.D.L. Beasley, G. Binns, R.D. Hodges, R.J. Badley,



송 승 연 (sesong@dgist.ac.kr)

2014 제주대학교 전자공학과 학사
2017 제주대학교 전자공학과 석사
2018~ 현재 DGIST 석사후연수연구원

관심분야 : 레이다 신호처리, 모델링&시뮬레이션



김 봉 석 (remnant@dgist.ac.kr)

2006 영남대학교 전자공학과 학사
2009 영남대학교 정보통신공학과 석사
2014 영남대학교 정보통신공학과 박사
2014~ 현재 DGIST 선임연구원

관심분야 : 레이다 신호처리, 초고해상도 알고리즘, 딥러닝 알고리즘



김 상 동 (kimsd728@dgist.ac.kr)

2004 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사
2006 한양대학교 전자공학과 석사
2018 경북대학교 전자공학과 박사
2015~ 2016 Univ. of Florida 방문교수
2006~ 현재 DGIST 선임연구원

관심분야 : 레이다 신호처리, 생체 레이다, 초고해상도 알고리즘, 딥러닝 알고리즘



김 민 수 (mskim@wave-tech.co.kr)

2009 경남대학교 정보통신공학과 학사
2011 경남대학교 첨단공학과 석사
2015 경남대학교 첨단공학과 박사
2013~ 2016 (주)LICT 기술연구소 선임연구원
2016~ 현재 (주)웨이브텍 SI사업부 책임연구원

관심분야 : milimeter wave, SI, Radar



김 윤 섭 (yskim@wave-tech.co.kr)

2006 한양대학교 전자공학과 학사
2008 광운대학교 전자공학과 석사
2016~ 현재 (주)웨이브텍 SI사업부 책임연구원

관심분야 : millimeter wave, SI, Radar



이 종 훈 (jhlee@dgist.ac.kr)

1996 성균관대학교 전자공학과 공학사
1998 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 공학석사
2002 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 공학박사
2005 삼성전자 책임연구원
2007~ 현재 대한임베디드공학회 상임이사
2014~ 2015 DGIST 로봇시스템연구부장
2016~ 2017 Georgia Institute of Technology 방문학자
2008~ 현재 IEEE Senior member
2005~ 현재 DGIST 책임연구원 및 대학원 겸무교수

관심분야 : 레이더 신호처리, 레이더 인식 및 검출, 센서융합