

DPCA를 이용한 지상 이동 표적 탐지에서 클러터 종류에 따른 성능 비교

Comparison of GMTI Performance Using DPCA for Various Clutters

이명준 · 이승재 · 강병수 · 유보현 · 임병균* · 오태봉* · 김경태

Myung-Jun Lee · Seung-Jae Lee · Byung-Soo Kang · Bo-Hyun Ryu ·
Byoung-Gyun Lim* · Tae-Bong Oh* · Kyung-Tae Kim

요 약

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 시스템을 이용한 지상 이동 표적 탐지(ground moving target indicator: GMTI)는 상대적으로 짧은 시간에 넓은 지상 지형에 존재하는 이동 표적을 탐지하여 교통통제 및 군사적 위협에 대한 정보를 획득하는 기술이다. Displaced phase center antenna(DPCA) 방법은 실시간 GMTI에 적합한 탐지방법이지만, 측정 지역에 따른 클러터 분포의 차이를 고려한 분석이 부족하다. 다양한 지상 클러터의 특징에 적합한 이동 표적 탐지기들의 설계를 위해 지상 클러터 지역의 이동 표적 탐지 성능에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 연구된 DPCA 탐지기를 이용한 지상 이동 표적 탐지가 지형에 따라 서로 다른 탐지 성능을 갖는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 특히 도심 지형의 특징을 갖는 이종 및 극성 이종 클러터 지형에서 기존 DPCA 탐지기는 높은 오경보율을 갖고, 자연지형의 동종 클러터 지형에서 낮은 오경보율을 갖는 것을 확인하였다.

Abstract

Ground moving target indicator(GMTI) using synthetic aperture radar(SAR) used for finding moving targets on wide background clutter in short time is one of good ways to monitor a traffic situation or an enemy's threat. Although displaced phase center antenna (DPCA) is a real time method with low computational complexity, there have been few studies about its performance against various ground clutters. Thus, we need to analyze GMTI performance for various ground clutters in order to design a suitable DPCA detector. In this paper, simulation results show that the conventional DPCA detector produces different performance in terms of detection rate and false alarm rate. In particular, the false alarm rate of heterogeneous or extremely heterogeneous clutter from urban area is higher than one of homogeneous clutter from natural area.

Key words: GMTI, DPCA, Clutter, CFAR Detector

I. 서 론

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 영상은 항공기 혹은 위성등의 비행체에 탑재된 레이더를 이

「이 연구는 2017학년도 한국항공우주연구원이 지원하는 연구비의 지원으로 연구되었음.」

포항공과대학교 전자전기공학과(Department of Electronic Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

· Manuscript received April 13, 2017 ; Revised May 29, 2017 ; Accepted June 7, 2017. (ID No. 20170413-035)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

용해 전자기파를 송·수신하여 관심 지역의 전자기적 산란 정보를 표현하는 2차원 영상이다. 기후와 시간에 관계 없이 동일한 SAR 영상은 군수 및 민간 분야에서 널리 쓰이고 있다.

이 중, SAR 영상을 이용한 지상 이동 표적 탐지(ground moving target indicator: GMTI)는 SAR 영상 내 차량, 탱크 등의 이동 표적의 존재를 탐지하고, 그 위치를 획득하는 것이다. 지상 이동 표적을 탐지하여, 실시간으로 교통상황의 정보를 획득하고, 군사적 위협을 감지한다.

GMTI를 수행하기 위한 알고리즘은 Space-Time Adaptive Processing(STAP)^[1], Along Track Interferometry(ATI)^{[2],[3]}, Displaced Phase Center Antenna(DPCA)^{[4],[5]} 등이 있다. STAP은 다중 안테나를 사용하여 획득한 데이터에 대하여, 각 안테나의 가중치를 결정해, 클러터를 제거하는 방법이다. STAP은 클러터 제거성능이 우수하지만, 비효율적인 계산량으로 계산 시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 현재 가장 활발히 연구 중에 있는 ATI는 이중 안테나를 사용해 형성된 2개의 SAR 영상 간의 켈레그램을 통해 인터페로그램(interferogram)을 만들고, 형성된 인터페로그램의 위상성분을 이용해 GMTI를 수행하는 방법이다. ATI를 이용한 GMTI는 이동표적의 속도를 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 효율적인 계산량으로 실시간 GMTI에 적합하다. 또한, ATI는 실제 지상 지형에 존재하는 다양한 클러터에 따라 적합한 문턱치를 구하는 연구와 이에 대한 성능분석이 수행되어 있기 때문에^[2], 다양한 지상 지형에 적합한 GMTI 수행이 가능하다. DPCA는 ATI와 동일한 이중 안테나를 사용하여 SAR 영상을 형성한 후, 2개의 SAR 영상 간의 차이로 형성된 DPCA 영상을 이용하는 방법이다. DPCA는 적은 계산량을 가지며, 따라서 실시간 GMTI의 활용가능성이 크다. 하지만, DPCA를 이용한 GMTI는 다양한 클러터 환경에 따른 탐지율과 오경보율의 정량적인 성능분석에 대한 연구가 부족하다. 이런 이유로 DPCA를 이용한 실제 지상 지형에 대한 GMTI를 수행하는데 있어서 많은 제약이 있고, 이를 극복하기 위한 성능 분석에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 다양한 클러터 분포에 대하여 GMTI를 수행하여 이동 표적 탐지율과 오경보율 차이에 대한 실험적 분석을 수행하였으며, 논문의 구성은 다음과 같다.

II 장에서는 클러터 분포를 자연 지형, 도심 지형 등이 가진 형태에 따라 동종 클러터, 이종 클러터, 극성 이종 클러터분포로 나누고, signal to clutter ratio(SCR)을 고려한 화소단위 클러터를 생성하는 기법을 소개한다. III장은 생성된 화소 단위 클러터를 사용하여, 특정 클러터 환경 내에서 이동 표적이 포함된 SAR 영상을 형성한 후, DPCA를 이용한 지상 이동 표적 탐지의 수행 방법을 설명한다. IV장은 항공용 SAR 시나리오를 기반으로 한 단일 이동 표적의 GMTI 시뮬레이션 결과를 보여주며, V장은 결론을 나타낸다.

II. 클러터 모델

2-1 클러터 종류 및 분포

SAR 영상 내 클러터는 측정 지형의 특성에 따라 동종, 이종, 극성 이종 클러터로 구분된다^{[6]~[8]}. 동종 클러터(homogeneous clutter)는 농경지대나 자연지대의 영상에 적합한 클러터 모델이다. 이 모델은 클러터의 실수부와 허수부가 평균이 0인 정규분포를 따르는 클러터 모델로 절대값은 레일리(Rayleigh) 분포를 따른다. 레일리 분포는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

여기서 σ 는 레일리 분포의 평균을 조정하는 규모 매개변수(scale parameter)이다.

이종 클러터(heterogeneous clutter)는 도심이나 해상지대 영상에 적합한 클러터 모델링으로 특히, 해상지역을 표현하기 위해서 처음 고안되었다^[7]. 이 분포는 K 분포 혹은 Weibull 분포로서, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \frac{2b}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{bx}{2}\right)^\alpha K_{\alpha-1}(bx), \alpha > 0 \quad (2)$$

위 분포의 b 는 규모 매개 변수를 의미하고 α 는 분포의 모양매개변수(shape parameter)이다. $\Gamma(\cdot)$ 와 $K_{\alpha-1}(\cdot)$ 는 각각 Gamma 함수와 $\alpha-1$ 차 Bessel 함수를 의미한다. K분포는 b 와 α 값에 따라 다른 형태의 분포도 지니고 있으며, 이런 분포는 주로 해상 지역을 표현하는 모델 중 하나이다.

극성 이종 클러스터(extremely heterogeneous clutter)는 동종 클러스터와 이종 클러스터 분포로 표현할 수 없는 도심지역의 클러스터 분포를 더욱 잘 묘사한 모델로서 S분포라고 불리며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다⁶⁾.

$$f_{Z_A}(x) = \frac{2n^n \Gamma(n-\alpha) \gamma^{-\alpha} x^{2n-1}}{\Gamma(n) \Gamma(-\alpha) (\gamma + nx^2)^{n-\alpha}}, \quad -\alpha, \gamma, n > 0 \quad (3)$$

n 은 다중 영상의 개수이고, γ 와 α 는 모양 매개변수이다.

그림 1은 동일한 평균을 가진 3가지 클러스터 크기의 분포를 도시한다. 동종 클러스터는 이종 클러스터, 극성 이종 클러스터에 비해 표준편차가 작고, 극성 이종 클러스터는 표준편차가 큰 특징을 갖는다. 따라서 동종 클러스터는 꼬리부분이 상대적으로 짧고, 극성 이종 클러스터의 꼬리부분이 상대적으로 가장 길다.

SAR 영상의 화소는 복소수이기 때문에 클러스터 화소는 크기 값과 위상 값을 갖고 있다. 이 위상 값은 $[0, 2\pi]$ 혹은 $[-\pi, \pi]$ 사이에 균일(uniform) 분포를 갖는다고 가정할 수 있다.

2-2 가상 클러스터 형성

클러스터 크기의 분포는 지형에 따라서 지정된 분포를 따르지만, 표적과 클러스터 간의 상대적 신호 세기는 SCR를 통해 정의된다. SCR의 정의는 식 (4)와 같다¹²⁾.

하기 σ^t 는 표적의 레이더 단면적(radar cross section: RCS),

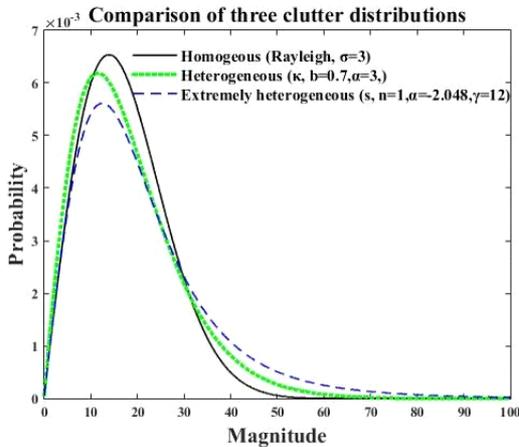


그림 1. 클러스터 모델링 형성 및 비교
Fig. 1. Clutter modelling and its comparison.

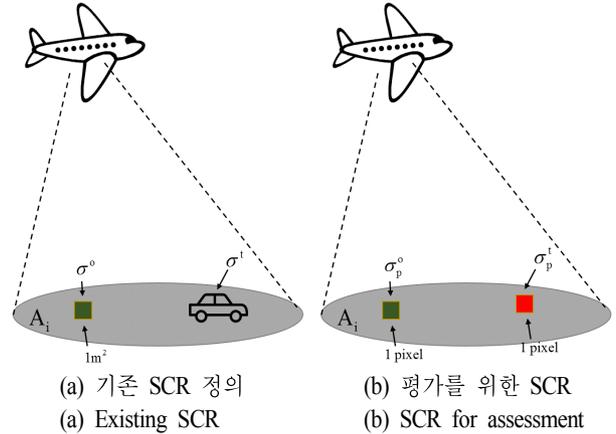


그림 2. GMTI를 위한 SCR 새로운 정의
Fig. 2. New SCR definition for GMTI.

$$SCR = \frac{P_{signal}}{P_{clutter}} = \frac{\sigma^t}{\sigma^o A_i} = \frac{\sigma^t}{\sigma_i} \quad (4)$$

σ^o 는 클러스터의 단위 면적당 평균 레이더 단면적 A_i 는 레이더 전파가 관심지역에 반사되는 면적의 넓이이다. 따라서 σ_i 는 빔이 반사되어 수신되는 모든 클러스터 신호의 합을 표현한 레이더 단면적이다. SCR은 A_i 에 종속된 값으로써, 레이더 시스템에 따라 동일 표적 및 동일 클러스터 임에도 불구하고 다른 SCR을 갖는 문제점이 있다. 본 연구는 동일한 레이더 반사 계수를 갖는 서로 다른 지상 지형에 대한 이동표적 탐지 성능 비교가 목적이기 때문에, 기존의 식 (4)의 정의를 이용하면 레이더의 조건에 따라 동일 클러스터 지역이 동일 SCR로 표현되지 않는다. SCR에 따른 일관적인 GMTI 성능분석이 불가능하다.

본 논문에서는 식 (5)와 같이 표적의 중심 화소 크기 대 SAR 영상 내 클러스터 신호크기의 평균 간의 비를 SCR로 새롭게 정의한다. 이러한 새로운 정의를 통해 일관적인 GMTI 성능분석을 수행할 수 있다.

$$SCR' = \frac{\sigma_p^t}{\sigma_p^o} \quad (5)$$

상기 σ_p^t 는 이동 표적의 중심화소의 크기이며, $\overline{\sigma_p^o}$ 는 화소단위 클러스터들의 평균이다. 클러스터 신호의 크기 평균값은 클러스터 종류에 따른 특정 분포와 지정된 SCR을 따르

면서, 위상은 균일분포를 따르도록 화소단위 클러스터를 생성한다. 생성된 클러스터들은 영상 내 무작위로 배치한다.

2.3 영상 간의 클러스터 상관도

DPCA를 이용한 지상 이동 표적 탐지를 위해서 시간 차이가 존재하는 복수의 SAR 영상 형성이 필요하다. 시간 차이가 존재하도록 동일한 지역을 측정 한 후, 형성된 2개의 SAR 영상을 비교하면, 2 영상의 모든 클러스터의 크기와 위상이 동일하다. 따라서 GMTI 기법을 이용하여 모든 클러스터를 완벽히 제거 가능하고, 이동 표적 탐지의 성능은 높은 탐지율과 낮은 오경보율을 가질 것이다. 하지만 실제 SAR 영상 내에 존재하는 클러스터의 나무나 수풀 등이 바람에 의해서 움직이고, SAR 수신신호가 클러스터들의 미세한 입사각 차이로 인해 서로 다른 값을 가질 수 있기 때문에 각 SAR 영상의 크기와 위상값은 약간의 차이가 발생한다. 따라서 SAR 영상 간의 복소수 상관계수의 크기는 1이 아니며, 실제 SAR 영상에 의해서 측정된 영상 간의 복소수 상관계수의 크기는 지상 등의 고체 표면에서는 0.95에서 0.99 사이의 값을 갖고, 해상 등의 표면에서는 0.8보다 작은 값을 갖는다^[8]. 복소수 상관계수는 2차 공분산 행렬을 통해서 구할 수 있으며^[4], 2차 공분산 행렬은 식 (6)을 통해 구할 수 있다.

$$R = E[ZZ^H] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho e^{j\theta} \\ \sigma_1\sigma_2\rho e^{-j\theta} & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

상기 식에서 Z 는 시간 차이가 존재하는 두 개의 SAR 영상 SAR_1 과 SAR_2 의 결합으로 이루어진 행렬로서, $Z = [SAR_1, SAR_2]^T$ 을 의미한다. T 는 전치연산자를 의미하고, H 는 에르미트(Hermitian) 연산자를 의미한다. 공분산 행렬의 ρ 는 복소수 상관계수의 크기로 영상 간의 상관도를 나타낸다. 본 연구에서는 생성 후 배치된 화소단위 클러스터에 대해 ρ 를 0.95~0.99 사이가 되도록 각 클러스터 화소들의 크기와 위상을 변형한다.

III. DPCA를 이용한 CFAR 탐지기

3-1 Dual Receive Antenna(DRA) 신호 획득

효과적인 지상 이동 표적 탐지를 위해서는 시간 차이

가 존재하는 복수의 SAR 영상을 형성해야 한다. DRA는 한 개의 송신안테나와 복수 개의 수신안테나를 사용(그림 3)하여 SAR 영상 간의 시간 차이가 존재하도록 레이더 전파를 송·수신하는 방법이다^{[9],[10]}.

단일 레이더 송신파는 지상 클러스터 및 지상 이동 표적에 반사되고, 수신 안테나 간의 물리적 거리에 의해서 각 안테나의 수신과 사이에 시간 차이가 존재하게 된다. 수신과 간의 시간 차이로 인해 각 안테나 채널을 통해 형성된 영상 간의 시간 차이(그림 4)를 가지고, 이 시간 차이로 인해 DPCA 및 ATI등을 이용한 효과적인 GMTI가 가능하다. DRA 모드가 운용되기 위한 송신과 간의 짧은 정확한 시간간격(Δt_b)이 유지되는 펄스 반복 주파수(pulse repetition frequency: PRF)는 식 (7)과 같다.

$$PRF = \frac{1}{PRI} = \frac{1}{\Delta t_b} = 1 / \left(\frac{b}{v_p} \right) = \frac{v_p}{b} \quad (7)$$

v_p 는 레이더 플랫폼의 속도를 의미하고, b 는 수신안테나의 중심 간의 물리적 직선거리이다. Δt_b 는 PRF가 유지되는 상황에서 형성되는 영상 SAR_1 과 SAR_2 간의 시간 차이로, 펄스 반복 시간간격(pulse repetition interval: PRI)의 값을 갖는다.

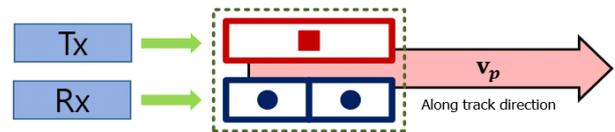


그림 3. 2중 수신안테나를 가진 DRA 모드
Fig. 3. DRA mode with 2 receiving antennas.

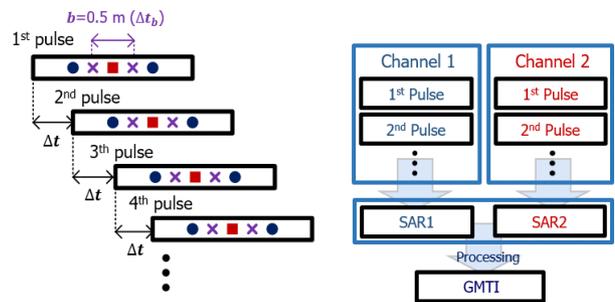


그림 4. 2중 DRA 모드 운용
Fig. 4. DRA operation process with dual receive antennas.

3-2 Displaced Phase Center Antenna(DPCA) 방법

DPCA를 이용한 GMTI는 복소 SAR 영상 간의 차이를 이용한 이동 표적 탐지 방법이다. 먼저, 일정 시간 차이를 두고 동일한 지역을 관측한 2개의 복소 SAR 영상들간의 차를 DPCA 영상으로 정의하고, 이를 식 (8)과 같이 획득한다.

$$D = SAR_1 - SAR_2 \tag{8}$$

상기 DPCA 영상 D 에서 클러터나 고정표적의 화소는 0인 값을 갖는다. 반면, 이동표적은 시간차이에 의해 서로 다른 영상 간의 위치차이 혹은 위상차이가 존재하기 때문에, 0이 아닌 값을 갖는다. RCS가 큰 클러터들에 대해서 두 영상 간 초점이 정확하지 않을 때 많은 오경보가 발생한다⁴⁾. 따라서 두 영상의 영상 간 초점 일치와 정합 과정이 DPCA 영상 형성 이전에 수행되어야 한다. 또한 속도를 추정할 수 없어 이동표적을 탐지하더라도 그 이외의 정보 획득에 한계가 있다. 하지만, DPCA를 이용한 GMTI는 간단하고 효율적인 계산이 가능하며, 하드웨어의 크기나 무게, 최대 전력 등의 한계가 있는 상황에서 간단한 처리과정을 기반으로 이동 표적 탐지가 가능하다.

3-3 DPCA를 위한 CFAR 탐지기

일정 오경보율(constant false alarm rate: CFAR) 탐지는 오경보율(false alarm rate, P_{FA})을 지정하여, 그에 따른 문턱치(threshold)를 정하는 방법이다(그림 6). 그림 6에서 x축은

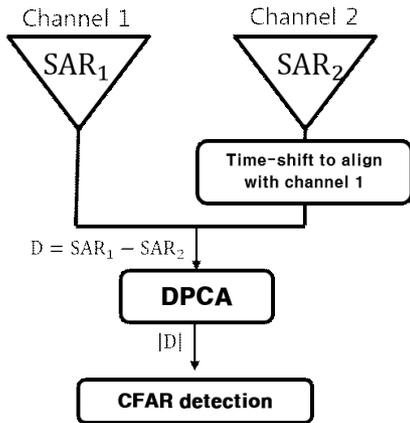


그림 5. DPCA 흐름도
Fig. 5. Flow chart of DPCA.

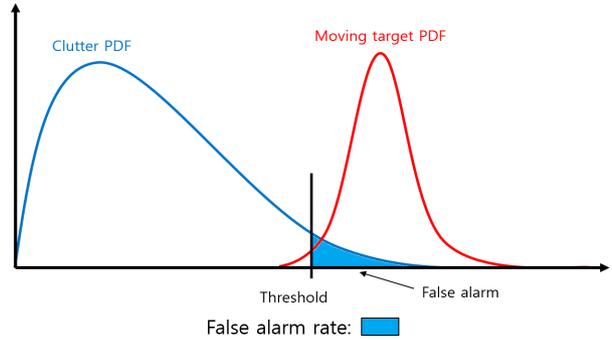


그림 6. 클러터에 대한 CFAR 탐지
Fig. 6. CFAR detection for clutter.

탐지를 위한 입력 신호의 크기이고, y축은 입력 신호의 크기에서 갖는 입력 신호의 존재 확률이다. 따라서 클러터의 분포에 대해서 알고 있을 때, CFAR 탐지가 가능하다. 2개의 SAR 영상을 이용한 지상 이동 표적 탐지를 위해 식 (8)의 복소 DPCA 영상, D 를 형성한다. 형성된 복소 DPCA 영상, D 는 클러터가 압축되어 있는 영상이기 때문에 CFAR를 통해 이동표적의 화소를 찾아낼 수 있다. SAR 영상 내의 클러터 크기의 분포는 지형에 따라서 지정되어 있지만, DPCA의 분포는 새롭게 정의해야만 한다.

D 의 절대값, $|D|$ 의 분포는 레일리 분포를 따른다고 가정한다^{5)[11]}. 레일리 분포에 대한 CFAR 문턱치는 식 (9)를 통해서 구할 수 있다.

$$1 - P_{FA} = \int_0^T f(x; \sigma) dx \tag{9a}$$

$$T = \sqrt{\frac{-4 \ln(P_{FA})}{\pi}} E(x) \tag{9b}$$

P_{FA} 는 지정된 오경보율이고, $f(x; \sigma)$ 는 $|D|$ 의 분포로서, 레일리 분포를 의미한다. 식 (10)의 과정을 통해 지상 이동 표적의 2차원 영상 내 위치를 탐지한다.

$$\begin{aligned} |D|_i > T: & \text{지상 이동 표적 화소} \\ |D|_i < T: & \text{고정 클러터 화소} \end{aligned} \tag{10a}$$

$$\begin{aligned} I^D = 1: & i\text{번째 화소} = \text{지상 이동 표적 화소} \\ I^D = 0: & i\text{번째 화소} = \text{고정 클러터 화소} \end{aligned} \tag{10b}$$

상기 $|D|_i$ 는 DPCA 영상 $|D|$ 의 i 번째 화소를 의미

하고, 상기 DPCA 탐지 과정 후에 지상 이동 표적의 위치를 표현하는 영상, I_D 를 형성한다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 단일 이동 표적에 대해 DPCA를 이용한 GMTI를 수행하여 탐지율 및 오경보율을 분석했다. 성능 평가를 위한 항공용 SAR 레이다 시나리오 및 이동표적에 해당하는 매개변수(그림 7, 표 1)와 클러터 및 CFAR의 매

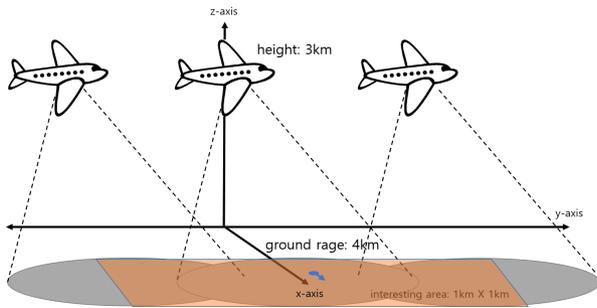


그림 7. GMTI 시뮬레이션 시나리오
Fig. 7. GMTI simulation scenario.

표 1. 시뮬레이션에서 사용한 레이다 신호 및 이동표적 매개변수

Table 1. Simulation parameters for radar and moving target.

Parameter	Value
SAR system	Stripmap SAR
SAR image formation algorithm	$\Omega-K$ algorithm
Operation mode	DRA mode
Intermediate frequency band	200 Mhz
Bandwidth	100 MHz
Pulse repetition frequency(PRF)	200 Hz
Moving platform height	3 km
Moving platform direction/velocity	+ y axis / 100 m/s
Receive antenna interval	0.5 m
Target intial position [x, y, z]	[4 km, 0 km, 0 km]
Moving target direction	+ x axis
Correlation coefficient between SAR images (ρ)	0.95~0.99
Signal to noise ratio, SNR	20 dB
Iteration	100 times

개변수(표 2)를 정의했다. 동중, 이중, 그리고 극성 이중 클러터 상황에 대한 DPCA를 이용한 GMTI를 수행하였다. 이동 표적은 단일 점 산란원으로 표현되며, 레이다 플랫폼 이동 방향의 수직한 방향으로 등속 이동한다. 표적의 이동 속도와 SCR을 변화시키며, 그에 따른 탐지율과 오경보율을 측정했다.

클러터 분포와 SCR을 만족하도록 화소 단위 클러터를 생성한 후, 이동하는 점 산란원 표적이 포함된 SAR 영상(그림 8) 내에 무작위로 배치하여 SAR_1 을 형성한다. SAR_1 과 SAR_2 사이에 존재하는 짧은 시간 차이를 고려할 때, 2개의 SAR 영상 간 복소수 상관관계는 0.95~0.99 값을 갖는다. 이를 위해 SAR_1 의 화소단위 클러터의 크기와 위상을 변경하여 SAR_2 을 형성하며, 형성된 두 SAR 영상은 정합과정을 통해 초점을 일치시켰다.

클러터가 배치된 2개의 SAR 영상, SAR_1 과 SAR_2 을

표 2. 시뮬레이션에 사용한 클러터 및 CFAR 탐지기 매개변수

Table 2. Simulation parameters for clutter and CFAR detector.

Parameter	Value
Homogeneous clutter (σ)	3
Heterogeneous clutter (b, α)	0.7, 3
Extremely heterogeneous clutter (n, γ, α)	1, 12, -2.048
DPCA CFAR	10^{-7}

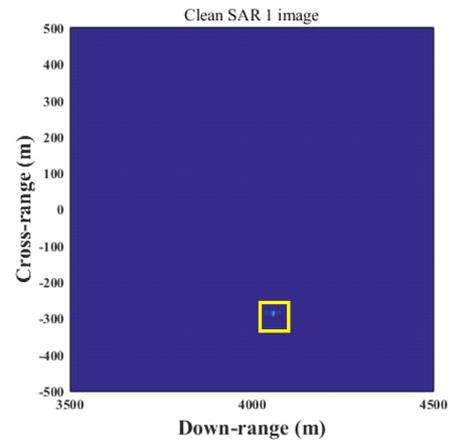
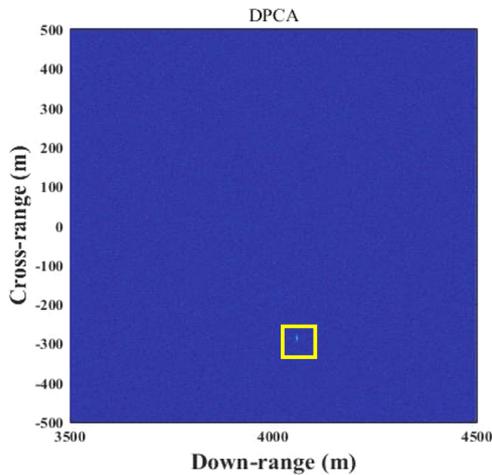


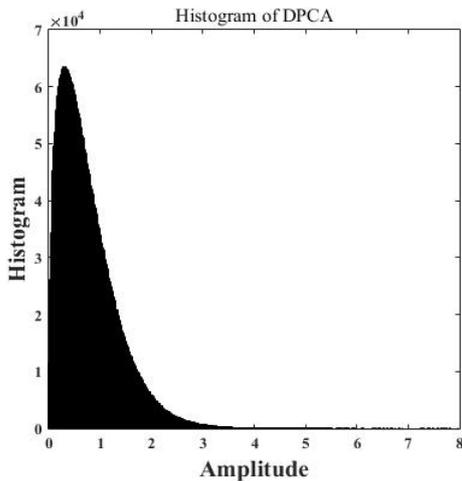
그림 8. 이동 표적을 포함한 SAR 영상
Fig. 8. SAR image with a moving target.

이용하여 복소 DPCA 영상, $|D|$ (그림 9(a))을 형성한다. $|D|$ 의 히스토그램(그림 9(b))은 레일리 분포의 형태와 흡사하다^{[5],[11]}. 탐지율은 전체 반복 시행 횟수 중에 이동 표적으로 바르게 탐지된 횟수의 비를 의미하며, 오경보율은 1 km²당 오경보 화소의 개수를 의미한다. 그림 10의 도시된 탐지 영상 내 점들은 오경보 화소 중 일부를 도시한다.

이동 표적이 레이다 플랫폼 이동방향에 수직인, x축 방향으로 3 m/s의 속력을 갖고 이동할 때, SCR을 2 dB에서



(a) 복소 DPCA 영상, $|D|$
(a) Complex DPCA image, $|D|$



(b) $|D|$ 의 히스토그램
(b) Histogram of $|D|$

그림 9. DPCA 영상 및 히스토그램
Fig. 9. DPCA image and its histogram.

12 dB까지 0.5 dB씩 증가시키며, GMTI를 수행한 결과를 그림 11에 도시하였다. 또한, 그림 12는 8 dB의 SCR을 갖는 동종 클러스터 환경 내에서, x축 방향으로 이동하는 표적의 속도를 0 m/s에서 6 m/s까지 0.3 m/s 간격으로 증가시키며 GMTI를 수행한 결과이다. 시뮬레이션의 SCR 및 표적의 이동 속도 범위는 각 시뮬레이션의 탐지율이 100%에 이르는 최소 범위로 설정하였다. 특히, CFAR 탐지기는 일정한 오경보율을 갖도록 설정된 탐지기이므로, 오경보율이 SCR과 표적의 이동 속도 변화에도 불구하고, 각각의 클러스터 지형에서 거의 일정한 값을 갖는다. 본 시뮬레이션을 통해 클러스터의 종류에 따른 기존 DPCA 탐지기에 대한 탐지 성능의 차이가 존재함을 확인하였다.

SCR에 따른 탐지율(그림 11(a))의 변화를 보면, 3가지 클러스터 지형에서 SCR이 증가함에 따라 탐지율이 증가하는 모습을 가진다. 동종 클러스터 지형은 높은 SCR에서 탐지율이 이중 및 극성 이중 클러스터에 비해서 높지만, 이중 및 극성 이중 클러스터 지형은 낮은 SCR의 상황에서 동종 클러스터에 비해 상대적으로 높은 탐지율을 갖는다. 탐지율 측면에서 기존 DPCA 탐지기의 특정 클러스터 지형에 대한 탐지 성능을 비교하기 어렵다. 반면, SCR에 따른 오경보율(그림 11(b))을 보면 동종 클러스터 지형에서 DPCA 탐지기의 오경보율이 이중 및 극성 이중 클러스터 지형의 오경보율보다 작은 것을 통해 탐지 성능 비교가 가능하다.

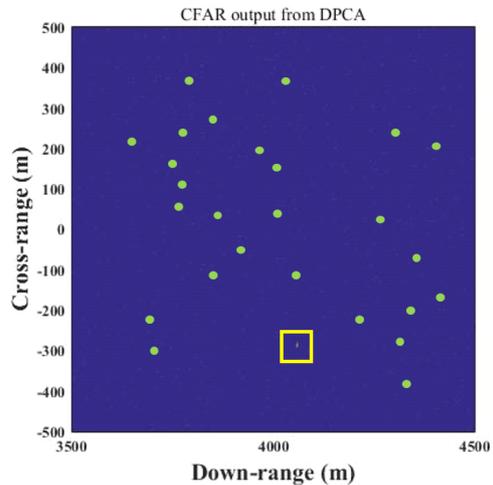


그림 10. DPCA CFAR 탐지 영상, I_D
Fig. 10. CFAR output image for DPCA, I_D .

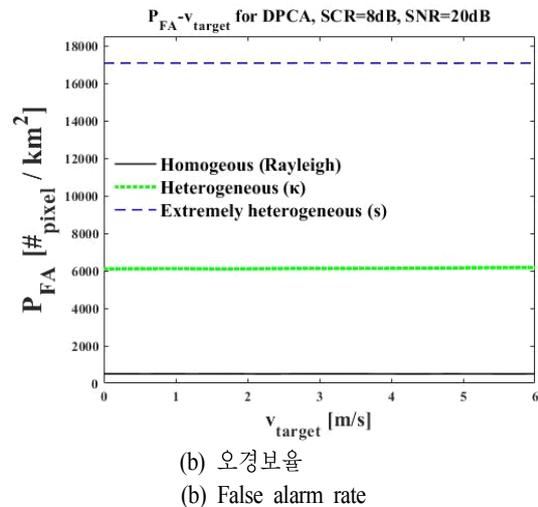
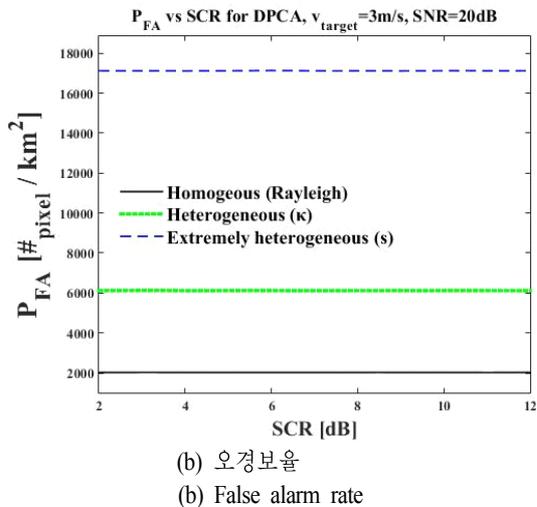
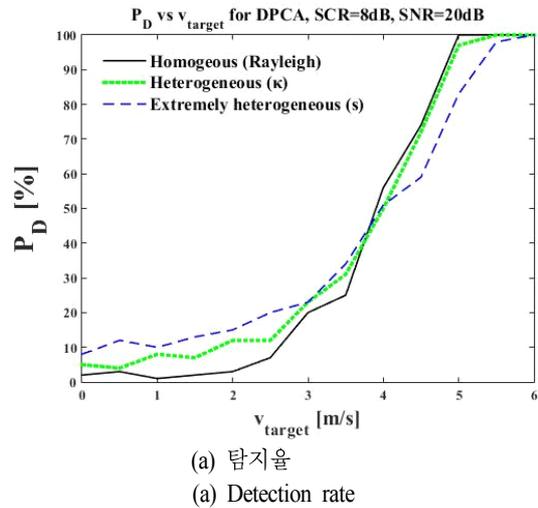
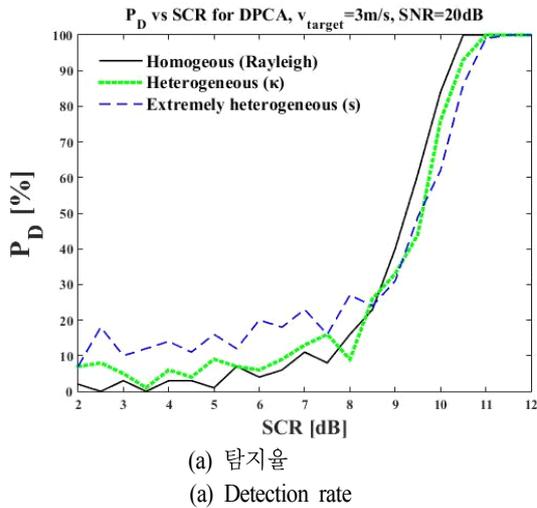


그림 11. SCR에 따른 성능평가
Fig. 11. GMTI performance for SCR.

그림 12. 표적 이동 속도에 따른 성능평가
Fig. 12. GMTI performance for moving target's velocity.

표적의 이동 속도에 따른 탐지율(그림 12(a))의 변화를 보면 표적의 이동 속도가 높아질수록 탐지율이 증가하는 모습이 3가지 클러터 지형에 동일하게 표현되며, 탐지율의 차이가 미세하여, 탐지 성능의 비교가 어렵다. 그러나 클러터 지형에 따른 오경보율(그림 12(b)) 성능 차이는 상대적으로 분명하다. 동종 클러터에 대한 기존 DPCA의 오경보율은 낮고, 이종 및 극성 이종 클러터에서 오경보율은 상대적으로 높았다.

이런 결과는, 레일리 분포의 가정을 필요로 하는 기존의 DPCA 탐지기가 갖는 한계를 나타내며, 특히 극성 이

종 클러터 지형에서의 오경보율을 하향시키는 DPCA 탐지기 설계연구가 필요하다는 것을 알 수 있다. DPCA 탐지기의 지상 지형에 따른 성능을 향상하기 위하여 레일리 분포 이외의 적합한 분포를 찾는 것이 가장 직접적인 해결 방안이며, ATI 등의 다른 GMTI 방법과 정보융합을 하는 방법 등이 존재할 것이다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 지상 이동 표적 탐지, GMTI 수행에 사

용되는 기존 DPCA 탐지기의 탐지 성능을 다양한 클러터에 대하여 분석하였다. 다양한 클러터에 대하여 기존의 DPCA 탐지기는 서로 다른 탐지 성능을 갖는다. 특히, 기존 DPCA 탐지기는 이중 및 극성 이중 클러터에서 높은 오경보율이 발생하는 문제점을 가지고 있어, 도심지형의 GMTI 수행에서 많은 제약을 가지고 있다. 탐지기의 신뢰성을 위해서 다양한 측정지형에 따라 일관된 탐지 성능을 갖는 탐지기 개발이 필요하다. 또한, 이를 바탕으로 추후에 DPCA 이외의 ATI를 포함한 다른 이동 표적 탐지 방법과 데이터 융합을 이용하여 탐지율 및 오경보율 성능을 향상시킨 탐지기 개발 연구에 활용할 수 있다.

References

[1] W. Burger, "Space-time adaptive processing: Algorithms", *Educational Notes RTO-EN-SET-086*, 2006.

[2] G. Gao, G. Shi, "The CFAR detection of ground moving targets based on a joint metric of SAR interferogram's magnitude and phase", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 9, pp. 3618-3624, Sep. 2012.

[3] E. Chapin, C. W. Chen, "Along-track interferometry for ground moving target indication", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 23, no. 6, 19-24, Jul. 2008.

[4] R. Deming, M. Best, and S. Farrell, "Simultaneous SAR and GMTI using ATI/DPCA", *Proceedings of the SPIE*, vol. 9093, Jun. 2014.

[5] Y. Hou, J. Wnag, X. Liu, K. Wnag, and Y. Gao, "An

automatic SAR-GMTI algorithm based on DPCA", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Jul. 2014.

[6] A. C. frery, H. Muller, C. C. F. Tanasse, and S. J. S. Sant'Anna, "A model for extremely heterogeneous clutter", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 35, no 3, pp. 648-659, May 1997.

[7] E. Conter, M. Longo, and M. Lops, "Modelling and simulation of non-Rayleigh radar clutter", *IEE Proceedings F - Radar and Signal Processing*, vol. 138, no. 2, pp. 121-130, Apr. 1991.

[8] C. H. Gierull, "Statistical analysis of multilook sar interferograms for CFAR detection of ground moving targets", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no 4, pp. 691-701, Apr. 2004.

[9] S. Suchandt, H. Runge, H. Breit, U. Steinbrecher, A. Kotenkow, and U. Balss, "Automatic extraction of traffic flows using TerraSAR-X along-track interferometry", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no 2, pp. 807-819, Feb. 2010.

[10] C. H. Gierull, "Ground moving target parameter estimation of two-channel SAR", *IEE Proceedings - Radar Sonar and Navigation*, vol. 153, no. 3, pp. 224-233, Jun. 2006.

[11] X. Yang, J. Wnag, "GMTI based on a combination of DPCA and ATI", *IET International Radar Conference 2015*, Oct. 2015.

[12] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, Chapman & Hall/CRC, p. 323, 2013.

이 명 준



2014년 8월: 한동대학교 전산전자공학부 (공학사)
 2017년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학 학과 (공학석사)
 2017년 3월~현재: 포항공과대학교 전자 전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 레이다 영상, 레이다 신호

처리, 이동 표적 탐지

이 승 재



2012년 2월: 한양대학교 전자 및 통신공학과 (공학사)
 2014년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학 학과 (공학석사)
 2014년 3월~현재: 포항공과대학교 전자 전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 레이다 표적 인식, 레이다

영상, 레이다 신호처리, 패턴인식

강 병 수



2012년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2014년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] 레이더 영상

오 태 봉



2007년 2월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학부 (공학사)
2009년 8월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학부 (공학석사)
2009년 7월~2013년 7월: 한국항공우주연구원 연구원
2013년 7월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리

유 보 현



2015년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
2015년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] 레이더 영상

김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전자공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
2012년 9월~현재: 레이더/IR 표적식별 특화연구실 실장
[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정 등

임 병 균



2004년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
2010년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2010년 12월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원
[주 관심분야] 합성개구면레이더 신호처리