

SAR-ATR 기반 SAR 잡음 재밍 성능 분석

SAR Noise Jamming Performance Evaluation Using SAR-ATR

이인혁 · 이경민 · 조민곤 · 박영주* · 김상원* · 김경태

In-Hyeok Lee · Kyung-Min Lee · Min-Gon Cho · Young-Ju Park* · Sang-Won Kim* · Kyung-Tae Kim

요 약

SAR(synthetic aperture radar)는 기상 조건 또는 광량과 관계없이 고해상도 영상을 형성할 수 있기 때문에 군용 목적으로 높은 활용도를 갖는 레이더 시스템이다. 따라서, 적성 SAR 시스템의 영상 품질을 저하하기 위한 SAR 재밍 연구가 필수적이다. SAR 재밍을 효율적으로 수행하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 재밍 기법 연구에 앞서 재밍 시스템의 유효성을 판단하기 위한 성능 분석 지표가 필요하다. 현재 재밍 성능 분석에는 Euclidean distance, correlation coefficients 등의 지표가 사용되고 있지만, 현존하는 지표들은 기준 영상에 따라 값이 크게 변하며, 성능 지표를 통한 잡음 재밍 성능 분석이 직관적으로 이루어지기 어렵다. 본 논문에서는 SAR-ATR(SAR-automatic target recognition)을 통해 탐지율을 통한 잡음 재밍 성능 지표를 제안하였다. 제안된 지표는 재밍의 목적인 SAR 영상 품질을 직접적으로 암시하는 탐지율을 포함함으로써, 재밍 성능 분석 지표를 통해 SAR 영상의 유효도를 직접 판단할 수 있다.

Abstract

Synthetic aperture radar (SAR) is valuable military tool that can generate high-resolution images in any illumination or weather condition. As SAR can be used for hostile purposes, it is important to develop jamming techniques to degrade the quality of SAR images. Jamming performance evaluation (JPE) metrics are used to evaluate the effectiveness of jamming systems. Existing JPE metrics are using the Euclidean distance or correlation coefficients, but they can vary significantly depending on the reference image. This makes it difficult to intuitively evaluate noise-jamming performance. In this study, we propose a new JPE metric based on the detection rate through SAR-automatic target recognition (ATR). The proposed metric uses the detection rate to directly infer the quality of the SAR image, which is the main objective of jamming. This allows for the direct evaluation of SAR image validity using the proposed metric.

Key words: Noise Jamming, Synthetic Aperture Radar, Jamming Performance Evaluation, Automatic Target Recognition

I. 서 론

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar, SAR)는 이

동하는 플랫폼을 활용해 전자기파를 송·수신하여 지형 또는 표적에 대한 영상을 형성하는 레이더 시스템이다^{[1],[2]}. SAR 시스템은 기후와 광량에 무관하게 고해상도 영상을

「이 논문은 2023년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(UI210012YD).」

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*국방과학연구소(Radar & EW Technology Center, Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 20, 2023 ; Revised July 11, 2023 ; Accepted June 29, 2023. (ID No. 20230620-042)

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

형성할 수 있다는 점에서 광학 영상 시스템과 차별점을 갖는다. 따라서 SAR는 인공위성 플랫폼을 기반으로 지형 감시·정찰과 표적 탐지·식별 등에 많이 활용된다^{[3][4]}.

앞서 언급한 장점을 바탕으로 SAR 영상은 군사적 목적으로 높은 활용도를 보인다. 따라서, 적성 SAR 시스템에 대비하기 위한 SAR 재밍 연구가 필수적이다. SAR 재밍은 크게 잡음 재밍(noise jamming)과 기만 재밍(deceptive jamming)으로 구분된다^[5]. 잡음 재밍은 잡음을 송신해 SAR 영상의 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio, SNR)를 낮추어 영상 내의 정보를 취득하지 못하게 하는 것이 목적이다^[6]. 기만 재밍은 적 SAR 시스템의 신호를 수신한 뒤 이를 변조하여 재송신한다. 이 과정에서 실재하지 않는 표적을 있는 것과 같이 꾸미거나, 존재하는 표적을 SAR 영상에서 드러나지 않게 하는 것이 기만 재밍의 목적이다^[7]. 그러나 기만 재밍은 요구되는 기술의 수준이 현재의 기술 수준에 비해서 매우 높다^[8]. 따라서, 본 논문에서는 현재의 기술 수준으로 운용이 가능한 잡음 재밍에 대해 다룬다.

효과적인 잡음 재밍을 위한 연구를 위해서는 잡음 재밍의 성능 분석 연구가 필연적으로 선행되어야 한다^[9]. SAR 영상은 지형 등을 담은 전체 영상 안에 다양한 표적이 다수 존재한다. 따라서, 특정 산란점을 대상으로 SNR 등을 분석하는 것은 잡음 재밍의 성능을 제대로 표현한다고 볼 수 없다. 또한, SAR 영상의 목적 중 표적의 탐지·식별을 고려하면 수용할 수 있는 잡음의 수준 또한 특정하는 것이 불가능하다.

SAR 잡음 재밍의 성능을 분석하기 위해 다양한 연구가 선행되었다^{[10]~[12]}. 연구들은 다양한 영상에 활용할 수 있는 Euclidean distance, correlation coefficients 등의 다양한 지표를 활용해 잡음 재밍의 성능을 표현했다. 그러나, 앞선 연구에서 제시한 지표들은 SAR 영상의 활용 목적인 탐지·식별과 관련이 없다. 즉, 재밍 성능 지표가 제공되더라도 잡음 재밍 성공 여부에 대해 사용자의 주관적 판단이 요구된다.

본 논문은 SAR 영상에 자동표적식별(automatic target recognition, ATR) 기법^[13]을 적용해 잡음 재밍의 성능을 분석하는 기법에 대해 제안한다. 구체적으로, 재밍 신호가 없는 SAR 영상에 ATR 기법을 적용해 표적의 개수를

확인하고, 재밍 신호의 세기에 따른 탐지 성능의 변화를 관찰했다.

본 논문의 남은 내용은 다음과 같다. II장에서는 제안된 기법이 구체적으로 소개한다. III장에서는 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 환경과 분석 결과를 도론했다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 기술하였다.

II. ATR을 활용한 잡음 재밍 성능 분석

SAR-ATR은 SAR 영상에서 자동으로 표적을 탐지하는 기술로, SAR 영상의 활용도를 크게 높일 수 있다. SAR-ATR은 다양한 형태로 연구되었으며, 이에 따른 다양한 알고리즘이 존재한다^{[13]~[15]}. 본 연구에서 SAR-ATR을 활용하는 이유는 SAR 영상에서 탐지율의 변화를 통해 재밍 성능을 분석하고자 함에 있으므로, SAR-ATR 기법의 성능이 우수해 최대한 정확하게 표적을 탐지하는 것이 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 덤핑 기반 기법을 제외한 SAR-ATR 중 성능이 우수한 ‘특징 기반 SAR 표적 타겟 및 두 단계 탐지 기법’^[13]을 기반으로 SAR-ATR을 수행했다.

이 장에서는 2-1에 SAR-ATR 기법에 대해 구체적으로 기술되어 있으며, 2-2에서 잡음 재밍 성능 분석 기법을 제안한다.

2-1 SAR-ATR 기법^[13]

다음의 그림 1은 본 논문에서 적용한 SAR-ATR 기법의 순서도이며, 각 단계의 구체적 수행 내용은 다음과 같다.

2-1-1 Speckle Reduction

SAR 영상에는 잡음(noise), 스펙클(speckle), 클러터(clutter) 등의 다양한 요소가 영상의 품질을 저하한다. 그 중 스펙클은 SAR 영상에 특징적으로 나타나는 형태의 잡음이다. 영상 품질 향상을 위해 스펙클은 반드시 제거되어야 하며, 이를 위한 다양한 필터(mean filter, Lee filter 등)가 존재한다. 본 알고리즘에서는 계산의 효율을 위해 Lee filter를 통해 스펙클 제거를 수행했다.

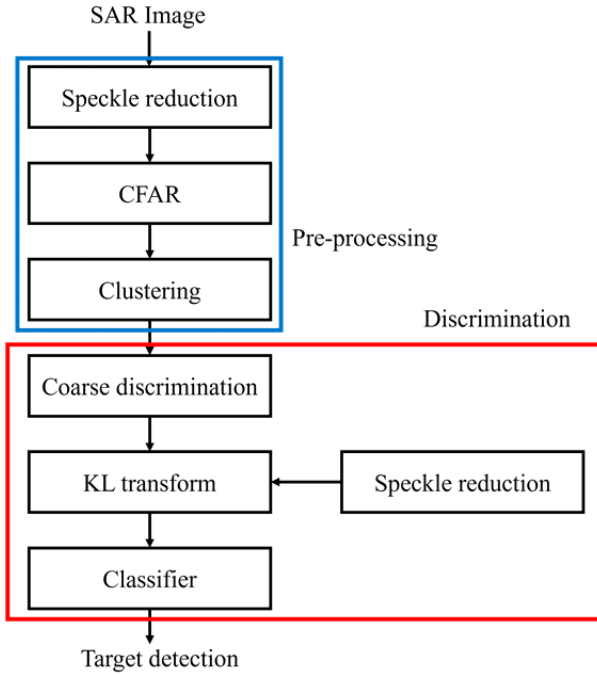


그림 1. SAR-ATR 알고리즘의 순서도
Fig. 1. The flow chart of SAR-ATR.

2-1-2 CFAR 탐지기

CFAR(constant false alarm rate) 탐지기는 표적 탐지를 위해 영상의 피크값을 찾는 필터이다. CA-CFAR^[16], OS-CFAR^[17] 등의 다양한 기법이 존재하지만, SAR 영상의 경우 그 크기가 매우 크기 때문에 영상 전체에 일정한 문턱값(threshold)을 설정해주는 FT-CFAR 기법을 채택했다. 구체적인 문턱값은 Rayleigh 분포를 통해 다음의 식 (1)과 같이 결정했다.

$$T_{CFAR} = \sqrt{\frac{-4\ln(P_{FA})}{\pi}} E(I) \quad (1)$$

이때, P_{FA} 는 false alarm rate, I 는 스펙클이 제거된 SAR 영상 그리고 $E(I)$ 는 영상 I 의 화소값의 평균이다.

2-1-3 Clustering

CFAR 탐지기를 통해 탐지된 화소들은 군집화 과정을 통해 객체로 변환되어야 한다. 군집화 알고리즘은 표적의 수를 알지 못할 때 활용이 가능한 DBSCAN(density-based

spatial clustering of applications with noise)^[18]을 채택했다.

2-1-4 Coarse Discrimination Stage

DBSCAN을 통해 군집화된 객체들은 그 크기에 따라 군집화된 화소의 수가 다르다. 즉, SAR 영상의 해상도와 표적의 크기를 고려해 표적과 클러스터를 구분할 수 있다. 다음의 식 (2)는 coarse discrimination에서 사용하는 필터이다.

$$T_{mass} = \alpha \frac{I_h I_v}{R_r R_a} \quad (2)$$

이때, α 는 경계를 결정하는 상수의 역할을 하며, I_h 와 I_v 는 각각 표적의 가로와 세로 길이, 그리고 R_r 와 R_a 는 SAR 영상의 거리, 방위 방향 해상도를 의미한다. 결론적으로, DBSCAN 이후 군집을 형성하지 못한(T_{mass} 이하의 개수로 군집화된) 화소들은 클러스터로 간주해 제거한다.

2-1-5 KL Transform^[19]

Coarse discrimination stage를 거쳐 선정된 표적들은 feature space에서 clutter와 최종적으로 구분된다. 표적 탐지를 수행하기에 앞서 표적 분리와 계산 효율을 위해 KL(Karhunen-Loève) 변환을 수행한다. 이 과정에서 스펙클 또한 추가적으로 제거된다.

2-1-6 Classifier

KL transform 이후 SAR 영상은 feature space에서 표적과 클러스터로 구분되고, 최종적으로 분류 과정을 거쳐 표적을 확인할 수 있다. 그림 2(a)에 대한 SAR-ATR 결과는 그림 2(b)에서 확인할 수 있다.

2-2 잡음 재밍 성능 분석

잡음 재밍의 성능을 나타내는 지표는 다양하지만, Euclidean distance, correlation coefficients 등의 지표는 상대적으로 강인한 경향성을 보이기 때문에 널리 사용되는 지표이다.

Euclidean distance는 다음의 식(3)과 같이 계산된다.

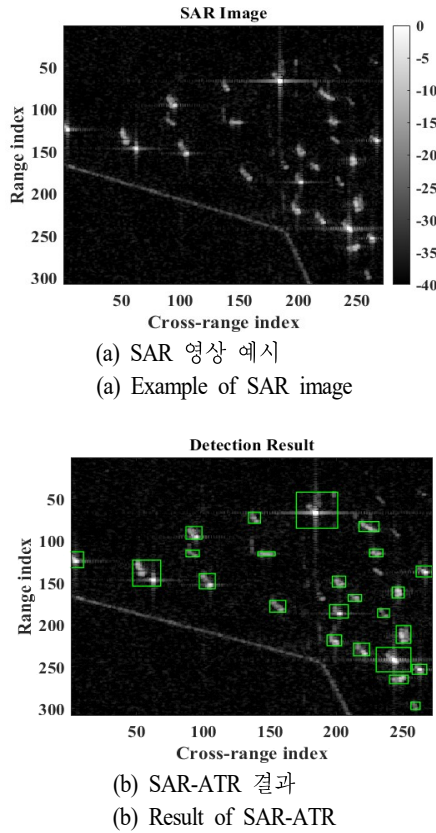


그림 2. SAR 영상과 SAR-ATR의 결과
Fig. 2. The SAR image and the result of SAR-ATR.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{l=1}^k (\alpha_l - \beta_l)^2} \quad (3)$$

이때, $x = (\alpha_1, \dots, \alpha_k)$ 는 재밍 신호가 없는 SAR 영상의 화소값, $y = (\beta_1, \dots, \beta_k)$ 는 재밍된 SAR 영상의 화소값이다. 식 (3)에서 $d(x, y)$ 는 두 영상의 화소 간의 차이의 크기를 나타내고 있으므로 크기가 클수록 재밍 성능이 높은 것으로 판단할 수 있다.

Correlation coefficients는 다음의 식 (4)와 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{\sum_{j=0i=0}^n \sum_{j=0i=0}^m f(x_i, y_j) g(x_i, y_j)}{[\sum_{j=0i=0}^n \sum_{j=0i=0}^m f^2(x_i, y_j) \times g^2(x_i, y_j)]^{1/2}} \quad (4)$$

이때, x_i 와 y_j 는 각각 거리 축과 방위축의 좌표, f 와 g 는 각각 재밍 신호가 있는 영상과 없는 영상을 의미한다.

Correlation coefficients는 두 영상의 유사도를 평가하는 기능을 갖기 때문에, 그 값이 작을수록 재밍 성능이 높은 것으로 판단할 수 있다.

위의 두 지표는 모두 재밍 성능의 경향성을 분석할 수 있지만 절대적인 지표로 활용될 수 없다. 예를 들어, correlation coefficients의 경우, $\rho_1 < \rho_2$ 와 같은 정보를 통해 ρ_1 의 영상이 상대적으로 재밍이 잘 되었다는 결론을 낼 수 있다. 그러나, $\rho_1 = 0.5$ 와 같은 형태의 정보는 활용할 수 없다.

본 논문에서는 SAR-ATR을 통한 잡음 재밍 성능 분석 기법에 대해 제안한다. 제안된 분석 기법은 그림 3의 순서도를 통해 자세히 알 수 있다.

2-2-1 SAR-ATR을 통한 p_0 획득

그림 3의 파란 박스로 표현된 이 단계는 재밍 신호가 없는 SAR 영상에 SAR-ATR을 적용해 목표 영상에 대한 SAR-ATR의 성능을 확인한다. 실제 표적의 개수 (n_{gt})와 SAR-ATR이 파악한 표적의 개수 (n_0)의 비를 통해 잡음이 없는 환경에서의 탐지율(p_0)을 얻을 수 있다.

2-2-2 SAR-ATR을 통한 p_1 획득

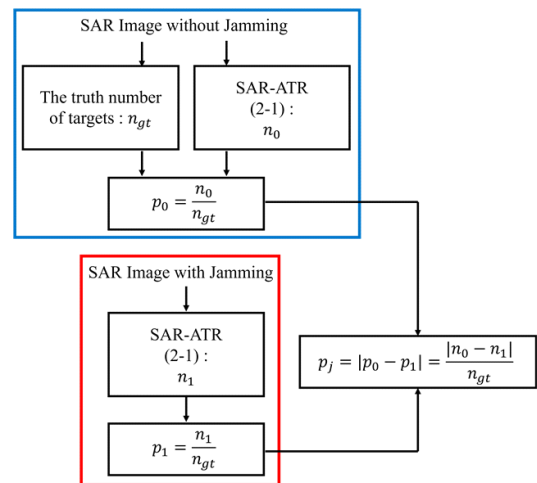


그림 3. SAR-ATR을 통한 잡음 재밍 성능 분석 기법 순서도

Fig. 3. The flow chart of SAR noise jamming performance evaluation through SAR-ATR.

그림 3의 빨간 박스로 표현된 이 단계에서는 재밍 신호가 존재하는 SAR 영상에 SAR-ATR을 적용해 p_1 을 획득한다. 따라서 p_1 은 잡음이 존재하는 영상에서의 탐지율을 의미한다. SAR-ATR 기법은 잡음과 표적을 구분할 수 있기 때문에 잡음 재밍이 존재하는 상황에서의 표적의 개수 (n_1)는 일반적으로 n_0 보다 작다고 가정할 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 지표의 안정성을 위해 n_0 와 n_1 의 차의 크기에 주목했다.

2.2.3 재밍 성능 지표 p_j 계산

최종적으로 재밍 성능 지표 p_j 는 다음의 식 (5)를 통해 얻을 수 있다.

$$p_j = \frac{|n_0 - n_1|}{n_{gt}} \quad (5)$$

p_j 의 의미는 재밍 신호가 없는 SAR 영상에서 파악한 탐지율(p_0)과 재밍 신호가 존재하는 SAR 영상에서 파악한 탐지율(p_1)의 차이이다. 그 결과, p_j 는 탐지율의 변화량을 의미한다. 따라서, p_j 잡음 재밍의 효과가 높을수록 p_0 에 가까운 값을 가지며, 잡음 재밍의 효과가 미비한 경우 0에 수렴한다.

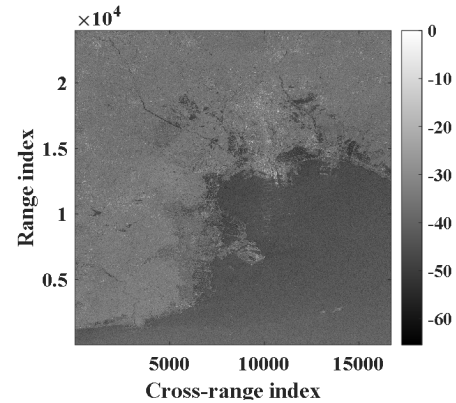
제안된 지표(p_j)는 SAR 잡음 재밍의 성능 분석에 대해 주관적 판단을 배제할 수 있다는 점에서 그 의미가 있다. SAR 잡음 재밍의 목적은 영상의 품질을 낮춰 표적을 탐지할 수 없게 만드는 것이다. 따라서 재밍 성능은 영상 품질 저하 그 자체를 넘어 탐지 성능을 통해 평가되어야 하며 주관적 판단을 배제할 수 있는 신뢰도 높은 지표가 필요하다. 본 논문에서 제안하는 지표는 재밍의 목적에 직접적으로 연관된 탐지율을 기반으로 재밍 성능을 평가하기 때문에 탐지 성능을 직접적으로 이해할 수 있으며 주관적인 판단을 배제할 수 있다.

III. 시뮬레이션 환경 및 분석 결과

이 장에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고 자세한 분석을 통해 제안된 기법의 타당성을 보인다. 분석에 사용된 영상은 그림 4(a)의 Sentinel-1 영상이며 같은 지역의 광학

영상은 그림 4(b)에서 확인할 수 있다. 본 논문에서는 효율적인 분석을 위해 전체 SAR 영상에서 그림 5와 같이 다수의 배 표적이 존재하는 일부 영역을 사용했으며, 배가 밀집된 빨간 박스로 표시된 영역에 SAR-ATR 기법을 적용해 배의 수를 탐지했다. SAR-ATR 기법을 적용한 결과는 다음의 그림 6과 같다. 그 결과 총 30개(n_{gt})의 표적 중 23개(n_0)를 탐지했음을 확인할 수 있다.

잡음은 무작위로 발생하므로 잡음 재밍 성능 분석 지표는 Monte-Carlo 기법^[20]을 통해 계산되어야 한다. 본 논문에서는 1,000회 반복을 통해 euclidean distance, corre-



(a) 잡음 재밍 효과 분석에 사용된 SAR 원본 영상

(a) Original SAR image used for jamming performance evaluation



(b) 잡음 재밍 효과 분석에 사용된 영역의 광학 영상

(b) Optical image of the same region with Fig. 4(a)

그림 4. 잡음 재밍 성능 분석에 이용된 SAR 전체 영상
Fig. 4. The entire SAR image used for noise jamming performance evaluation.

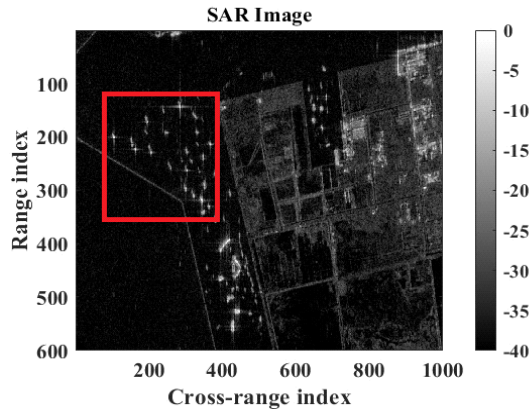


그림 5. 관심 지역의 SAR 영상
Fig. 5. SAR image of region of interest.

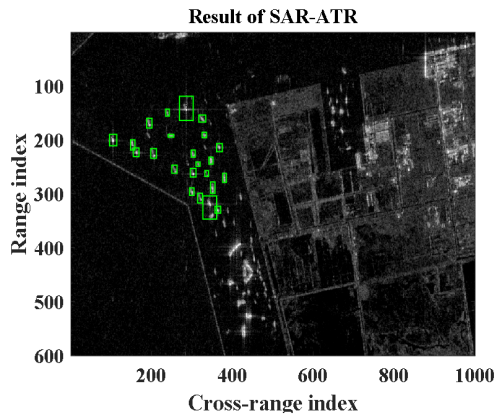
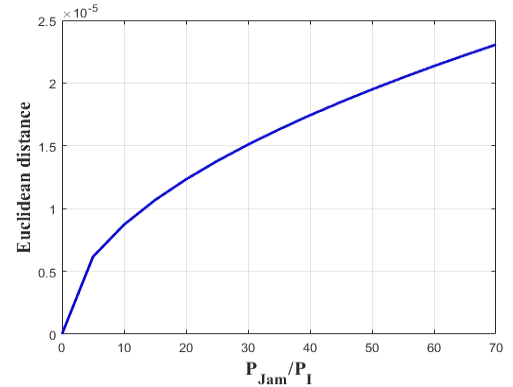


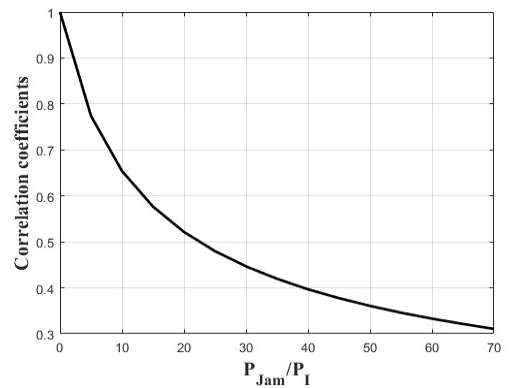
그림 6. 관심 지역의 SAR-ATR 결과 영상
Fig. 6. The result image of SAR-ATR.

lation coefficients 그리고 p_j 를 각각 계산했으며, 잡음 세기에 따라 도시한 그래프는 그림 7(a), 그림 7(b), 및 그림 7(c)에서 확인할 수 있다. 이때, 기준이 되는 P_{Jam}/P_I 는 잡음의 평균 전력(P_{Jam})과 영상의 평균 전력(P_I)의 비이다.

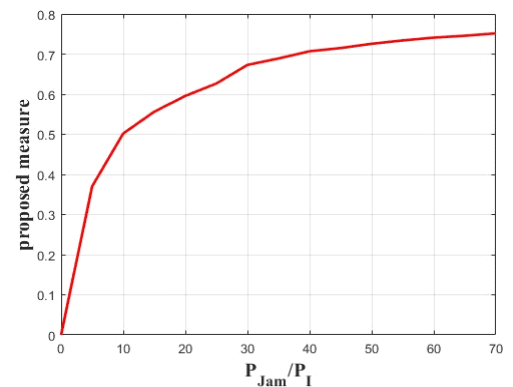
그림 7(a) 및 그림 7(b)의 Euclidean distance와 correlation coefficients는 알려진 바와 같이 잡음의 세기가 증가함에 따라 각각 증가, 감소하는 경향을 보인다. 그림 7(c)에서 알 수 있듯, 제안된 지표는 재밍 신호의 크기가 증가함에 따라 증가한다. 즉, 강한 재밍 신호가 탐지 확률을 크게 낮추었음을 지표를 통해 알 수 있다. 그림 8은 SAR-ATR을 수행한 결과 영상의 예시이다. 그림 8(a)~그



(a) 유클리드 거리
(a) Euclidean distance



(b) 상관 계수
(b) Correlation coefficients



(c) 제안된 기법
(c) Proposed measure

그림 7. 잡음 세기에 따른 SAR 잡음 재밍 성능 지표
Fig. 7. The jamming performance evaluation parameters depending on noise level.

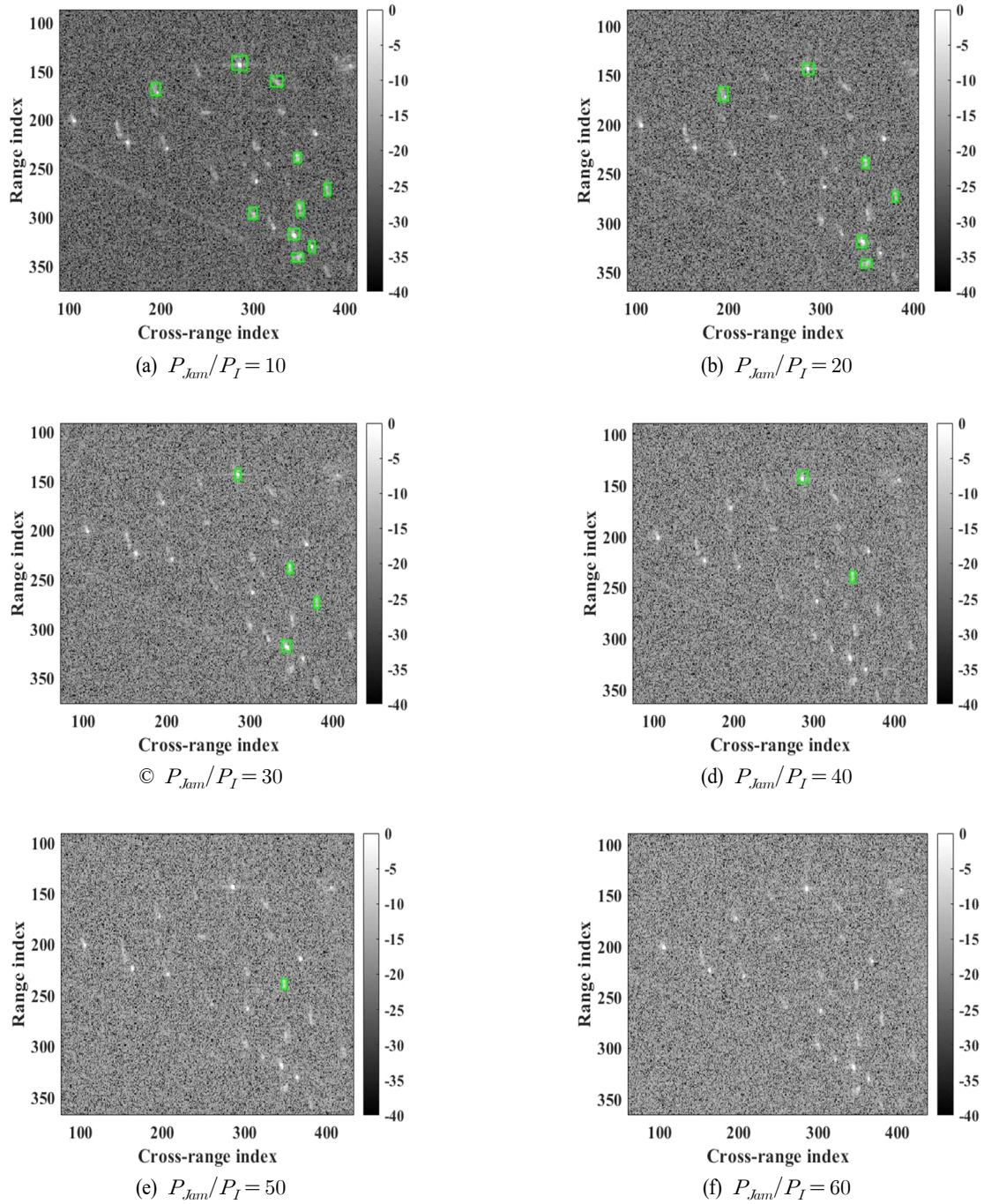


그림 8. 잡음 세기에 따른 SAR-ATR 결과 영상

Fig. 8. The result image of SAR-ATR depending on the noise level.

림 8(f)는 각각 $P_{Jam}/P_I = 10, 20, \dots, 60$ 인 경우의 SAR-ATR 결과 영상의 예시이다. 잡음의 세기가 커지며 SAR-

ATR을 통해 탐지한 표적의 개수가 각각 10, 6, 4, 2, 1, 0 개로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SAR 잡음 재밍 성능 분석을 위해 SAR-ATR을 활용해 탐지율을 내포하는 지표를 제안하였다. 제안된 지표는 SAR 영상의 근본적 목적인 탐지율의 변화를 통해 재밍이 SAR 영상을 악화시킨 정도를 직접적으로 분석한다. 시뮬레이션에서는 실제 SAR 영상을 통해 잡음 재밍 세기에 따른 영상을 제시하고 그에 해당하는 탐지율을 구체적으로 제시했다. 또한, Monte-Carlo 기법을 활용해 기존의 지표와 제안된 지표의 경향성을 확인했다. 본 연구는 추후 다양한 재밍 기법의 성능을 비교할 때 적극적으로 활용될 수 있지만, SAR-ATR 기법의 성능에 지표가 의존한다는 단점이 있으며 이는 추후 연구를 통해 극복해야 할 부분이다.

References

- [1] I. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*, Norwood, MA, Artech House, 2005.
- [2] M. Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms*, New York, NY, John Wiley & Sons, 1999.
- [3] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on synthetic aperture radar," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 6-43, Mar. 2013.
- [4] H. Y. Lee, "Investigation of SAR systems, technologies and application fields by a statistical analysis of SAR-related journal papers," *Korean Journal of Remote Sensing*, vol. 22, no. 2, pp. 153-174, Apr. 2006.
- [5] R. S. Harness, M. C. Budge, "A study on SAR noise jamming and false target insertion," in *IEEE Southeastcon 2014*, Lexington, KY, Mar. 2014, pp. 1-8.
- [6] W. Ye, H. Ruan, S. Zhang, and L. Yan, "Study of noise jamming based on convolution modulation to SAR," in *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*, Changchun, Aug. 2010, pp. 169-172.
- [7] F. Zhou, B. Zhao, M. Tao, X. Bai, B. Chen, and G. Sun, "A large scene deceptive jamming method for spaceborne SAR," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 51, no. 8, pp. 4486-4495, Aug. 2013.
- [8] K. M. Lee, I. H. Lee, S. K. Hong, Y. I. Jeon, I. S. Na, and K. T. Kim, "Analysis of the requirements for effective satellite-borne SAR deceptive jamming," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 2, pp. 146-159, Feb. 2022.
- [9] T. Tian, F. Zhou, Y. Li, B. Sun, W. Fan, and C. Gong, et al., "Performance evaluation of deception against synthetic aperture radar based on multifeature fusion," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, pp. 103-115, Oct. 2021.
- [10] W. F. Wu, D. H. Dai, and X. S. Wang, "Study on SAR jamming measures," in *2007 IET International Conference on Radar Systems*, Edinburgh, Oct. 2007, pp. 1-5.
- [11] Y. J. Lee, J. R. Park, W. H. Shin, K. I. Lee, and H. C. Kang, "A study on jamming performance evaluation of noise and deception jammer against SAR satellite," in *2011 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar(AP SAR)*, Seoul, Sep. 2011, pp. 1-3.
- [12] M. A. Ammar, H. A. Hassan, M. S. Abdel-Latif, and S. A. Elgamel, "Performance evaluation of SAR in presence of multiplicative noise jamming," in *2017 34th National Radio Science Conference(NRSC)*, Alexandria, Mar. 2017, pp. 213-220.
- [13] N. H. Jeong, J. H. Choi, G. Lee, J. H. Park, and K. T. Kim, "Feature selection for SAR target discrimination and efficient two-stage detection method," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 16, p. 4044, Aug. 2022.
- [14] J. I. Park, S. H. Park, and K. T. Kim, "New discrimination features for SAR automatic target recognition," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 10,

- no. 3, pp. 476-480, May 2013.
- [15] J. Pei, Y. Huang, W. Huo, Y. Zhang, J. Yang, and T. S. Yeo, "SAR automatic target recognition based on multiview deep learning framework," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 56, no. 4, pp. 2196-2210, Apr. 2018.
- [16] H. M. Finn, R. S. Johnson, "Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter estimates," *RCA Review*, vol. 29, no. 3, pp. 414-464, Sep. 1968.
- [17] S. Blake, "OS-CFAR theory for multiple targets and nonuniform clutter," *IEEE Transactions on Aerospace*

- and Electronic Systems*, vol. 24, no. 6, pp. 785-790, Nov. 1988.
- [18] M. Ester, H. P. Krigel, J. Sander, and X. Xu, "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise," in *Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Oregon, Aug. 1996, pp. 226-231.
- [19] Y. Hua, W. Liu, "Generalized Karhunen-Loeve transform," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 5, no. 6, pp. 141-142, Jun. 1998.
- [20] F. James, "Monte Carlo theory and practice," *Reports on Progress in Physics*, vol. 43, no. 9, p. 1145, Sep. 1980.

이 인 혁 [포항공과대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-7112-1318>



2019년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
2021년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2021년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] SAR/ISAR, SAR 재밍, 레이

다 신호처리, 압축 센싱

조 민 곤 [포항공과대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-4359-7324>



2022년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2022년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 석사과정
[주 관심분야] SAR/ISAR 및 레이더 신호처리

이 경 민 [포항공과대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-1999-5242>



2018년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
2020년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2020년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
[주 관심분야] SAR/ISAR 및 레이더 신호

처리

박 영 주 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7152-1442>



1993년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
1997년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
2017년 2월: 충남대학교 전파공학과(공학박사)
1997년 2월~현재: 국방과학연구소 레이더

전자전센터 책임연구원

[주 관심분야] 전자전 송수신 시스템 설계, 초광대역 안테나 설계, 대위성 전자전시스템 설계 등

김 상 원 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6096-3920>



2007년 2월: 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

1997년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 디지털 신호처리, 수치해석, 전자전, SAR 등

김 경 태 [포항공과대학교/정교수]

<https://orcid.org/0000-0003-1200-5282>



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)

2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전

자공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

2012년 9월~2017년 12월: 레이더/IR 표적식별 특화연구실실장

2018년 1월~현재: 무인감시정찰기술연구센터장

2019년 4월~현재: 차세대 영상레이더시스템 연구센터장

2020년 11월~현재: 차세대 국방융합기술 연구센터장

[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정