

객체 분석을 위한 KOMPSAT-5 영상의 해상도 향상 성능 분석

Improvement of KOMPSAT-5 Image Resolution for Target Analysis

이 승 재 · 채 태 병

Seung-Jae Lee · Tae-Byeong Chae

요 약

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 위성은 주·야와 날씨에 관계없이 객체의 전자기적 산란분포를 2차원 영상으로 제공할 수 있기 때문에, 광학 위성에 비해 객체 분석에 효과적으로 이용될 수 있다. SAR 위성의 지구 관측 주기를 고려한다면, 한 번에 넓은 범위를 관측하는 것이 객체분석에 유리하다. 하지만, 관측범위가 넓어질수록 위성 SAR 영상의 해상도가 저하되는 문제점이 있다. 이는 기존 레이더 신호처리에 이용되었던 해상도 향상 기법을 이용하여 극복될 수 있지만, 아직 해상도 향상 기법을 위성 SAR 영상에 적용하여 그 성능을 분석한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 위성 SAR 영상에 대한 기존 해상도 기법의 적용 가능성을 탐색하는 연구를 수행한다. 구체적으로, 한국항공우주연구원에서 운용 중인 다목적실용위성 5호(Korea multi-purpose satellite-5: KOMPSAT-5) 영상에 객체 탐지를 수행하고, 외삽(extrapolation), RELAX(relaxation), MUSIC(multiple signal classification) 기법을 적용하여 해상도를 향상시킨 후, 그 성능을 분석한다.

Abstract

A synthetic aperture radar(SAR) satellite is more effective than an optical satellite for target analysis because an SAR satellite can provide two-dimensional electromagnetic scattering distribution of a target during all-weather and day-and-night operations. To conduct target analysis while considering the earth observation interval of an SAR satellite, observing a specific area as wide as possible would be advantageous. However, wider the observation area, worse is the resolution of the associated SAR satellite image. Although conventional methods for improving the resolution of radar images can be employed for addressing this issue, few studies have been conducted for improving the resolution of SAR satellite images and analyzing the performance. Hence, in this study, the applicability of conventional methods to SAR satellite images is investigated. SAR target detection was first applied to Korea Multipurpose Satellite-5(KOMPSAT-5) SAR images provided by Korea Aerospace Research Institute for extracting target responses. Extrapolation, RELAX, and MUSIC algorithms were subsequently applied to the target responses for improving the resolution, and the corresponding performance was thereby analyzed.

Key words: Extrapolation, SAR Remote Sensing, Satellite SAR Image, Super-Resolution Technique

I. 서 론

합성 개구면 레이더(synthetic aperture radar: SAR) 위성

은 객체의 전자기적 산란분포를 2차원 영상으로 도시하며, 주·야와 날씨에 관계없이 객체에 대한 핵심 정보를 제공할 수 있다. 따라서 광학 위성에 비해 객체에 대한 분

한국항공우주연구원 (Korea Aerospace Research Institute: KARI)

· Manuscript received February 1, 2019 ; Revised March 11, 2019 ; Accepted April 24, 2019. (ID No. 20190201-004S)

· Corresponding Author: Seung-Jae Lee (e-mail: jelline15@kari.re.kr)

석 및 판독을 효과적으로 수행할 수 있어, 위성 원격탐사 분야에 활발히 이용되고 있다. 일반적으로 SAR 위성은 촬영모드를 조정하여 관측범위 및 해상도를 결정할 수 있다. SAR 위성의 긴 촬영주기를 고려하였을 때, 한 번에 넓은 범위를 관측할 수 있는 촬영모드를 활용하는 것이 객체 분석에 유리하지만, 관측범위가 넓어질수록 객체 내 주요 산란점들을 분해할 수 있는 해상도가 저하되고, 위성 SAR 영상 내 객체에 대한 분석 및 판독이 어려워진다.

기존 레이더 신호처리 분야에서는 다양한 신호처리 기법들을 이용하여 레이더 영상의 해상도를 향상시키는 연구가 수행되어 왔다^{[1]~[4]}. 이를 위성 SAR 영상에 활용할 시, 넓은 관측범위를 유지하는 동시에 객체에 대한 위성 SAR 영상의 해상도를 향상시켜, 분석관들에게 객체 분석 및 판독에 주요한 정보를 제공할 수 있다.

하지만, 아직 위성 SAR 영상에 기존 해상도 향상 기법을 적용하여 그 활용성을 조사 및 분석한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 기존 레이더 신호처리 분야에서 주로 활용되었던 해상도 향상 기법들이 위성 SAR 영상에 효과적으로 적용 가능한지 검증할 필요가 있다. 특히, 한국항공우주연구원에서 운용 중인 국내 SAR 위성인 다목적실용위성 5호(Korea multi-purpose satellite-5: KOMPSAT-5) 영상의 경우, 국내 사용자들이 비교적 용이하게 사용 가능하기 때문에, 이를 이용한 성능 분석이 반드시 필요하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 KOMPSAT-5 위성 SAR 영상에 대한 해상도 향상 기법의 적용 가능성을 탐색하기 위해, 다양한 해상도 향상 기법을 KOMPSAT-5 영상에 적용한 후, 그 성능을 분석해본다.

II. KOMPSAT-5 영상의 해상도 향상

KOMPSAT-5 영상의 해상도 향상을 수행하기 위해 먼저 복소(single complex) 형태로 제공되는 SAR 영상 내 각 픽셀의 크기를 추출하여 크기 SAR 영상(amplitude SAR image)을 형성한 후, 이에 SAR 객체 탐지를 수행한다. 그림 1은 본 논문에서 이용한 SAR 객체 탐지의 순서도를 나타낸다. 본 논문에서는 SAR 객체 탐지를 위해 웨이블릿 기반 기법^[5]을 수행한 후, 모폴로지, 라벨링, 클러스터링의 과정을 추가로 수행하였다.

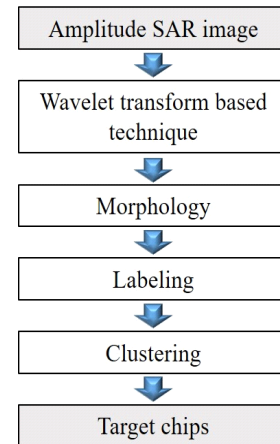


그림 1. SAR 객체 탐지의 흐름도

Fig. 1. Flowchart of SAR target detection.

다음으로, 크기 SAR 영상에서 탐지된 각 객체의 영역을 복소 SAR 영상에서 동일하게 추출하여 각 객체만을 포함한 다수의 복소 SAR 영상들을 구성한다.

해상도 향상 기법들은 주로 주파수 영역의 데이터를 기준으로 모델링이 되어 있다. 하지만, SAR 프로세서를 거쳐 유저에게 제공되는 복소 SAR 영상은 공간영역의 영상이다. 따라서 해상도 향상 기법을 적용하기 전, 각 객체를 포함하는 복소 SAR 영상을 2차원 고속 푸리에 변환(Fast Fourier transform: FFT)을 이용하여 주파수 영역으로 변환한다. 그 후, 거리 및 방위 방향으로 외삽(extrapolation)^[1], RELAX(relaxation)^[2], MUSIC(multiple signal classification)^{[3],[4]} 기법을 적용하여 기존 객체 SAR 영상에 비해 고해상도의 객체 SAR 영상을 획득한다.

외삽 기법으로는 선형 예측 기법(linear prediction model: LPM) 중 정확도와 복잡도 측면에서 우수하다고 알려진 Burg 알고리즘을 이용한다. LPM은 데이터를 불감쇠 지수들(undamped exponentials)의 합으로 가정하는 자동 회귀 모델(auto regressive model: AR model)을 이용한다. AR model은 과거 데이터를 기반으로 하는 순방향 예측(forward prediction)과 미래 데이터를 기반으로 하는 역방향 예측(backward prediction)을 모두 이용하여 AR 계수를 예측한다^[1].

RELAX 기법은 신호의 산란점들을 추출하기 위해 먼저 식 (1)과 같이 복소 신호와 복소 잡음으로 구성된 주파수 영역의 데이터를 가정한다.

$$y_{mn} = \sum_{k=1}^K \alpha_k e^{j2\pi d f_k m} e^{j2\pi f_k n} + e_{mn} \quad (1)$$

여기서, $m = 0, 1, \dots, M-1$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, M 은 방위 방향으로의 데이터 샘플 수, N 은 거리 방향으로의 데이터 샘플 수, α_k 는 k 번째 복소 신호의 복소 크기이다. 그 후, 식 (1)과 FFT에 기반한 신호처리를 데이터에 반복적으로 적용하여 객체의 산란점을 추출한다^[2].

MUSIC 기법은 먼저 수집한 데이터에 특이 값 분해(singular value decomposition: SVD)를 적용하여 신호 공간과 잡음 공간으로 분리한다. 그 후, 식 (2)와 같이 신호 공간과 잡음 공간의 직교성을 이용하여 각 산란점의 위치를 추정한다^[3].

$$P = \frac{a(m,n)^H a(m,n)}{a(m,n)^H E E^H a(m,n)} \quad (2)$$

여기서, $a(x,y)$ 는 신호 공간에 속하는 모드 벡터, $(\cdot)^H$ 는 에르미트(Hermitian), E 는 각 행(column)이 데이터로부터 계산된 상관 매트릭스(correlation matrix)의 잡음 고유 벡터(noise eigenvector)로 이루어진 매트릭스이다.

그림 2는 본 논문에서 수행한 KOMPSAT-5 영상에 대한 해상도 향상의 흐름도이다.

III. 실험 결과

본 실험에 이용한 위성 SAR 영상은 현재 한국항공우주

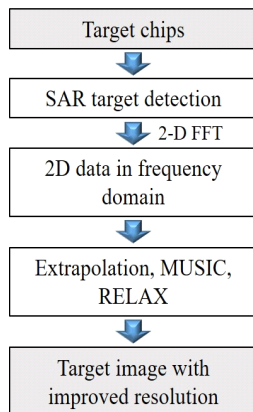


그림 2. KOMPSAT-5 영상에 대한 해상도 향상의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of improvement of resolution for KOMPSAT-5 image.

연구원에서 운용 중인 KOMPSAT-5 위성을 이용하여 획득하였고, 관련 영상에 대한 정보는 표 1에 요약되어 있다.

일반적으로 해양 물체 탐지를 위해서는 먼저 SRTM (shuttle radar topography mission)이나 영상처리 기법을 이용하여 육지 마스크(land masking)를 수행한 후 SAR 객체 탐지를 수행한다.

하지만 본 논문에서는 객체 부분의 해상도 향상이 목적이기 때문에 육지 마스크 과정을 생략하고, SAR 영상에서 해양을 포함하고 있는 부분만 추출하여 SAR 객체 탐지를 수행하였다(그림 3). 그림 4는 해양 부분에 해당하는 SAR 영상에 그림 1의 방법을 이용하여 객체 탐지를 수행한 결과를 보여준다. 다음으로, 탐지된 객체 SAR 영상에 외삽, RELAX, MUSIC 기법을 적용하여 해상도 향상을

표 1. KOMPSAT-5 영상에 대한 정보
Table 1. Information for KOMPSAT-5 image.

SAR satellite	KOMPSAT-5
Observation date	2017. 12. 31
Observation mode	Enhanced Standard (ES)
Polarization	Horizontal-to-Horizontal (HH)
Range resolution	2.14 [m]
Azimuth resolution	2.19 [m]
Range pixel spacing	1.05 [m]
Azimuth pixel spacing	1.84 [m]

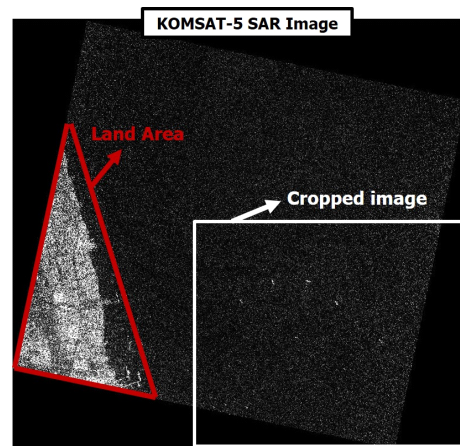


그림 3. 실험에 이용한 KOMPSAT-5 영상
Fig. 3. KOMPSAT-5 image used in experiment.

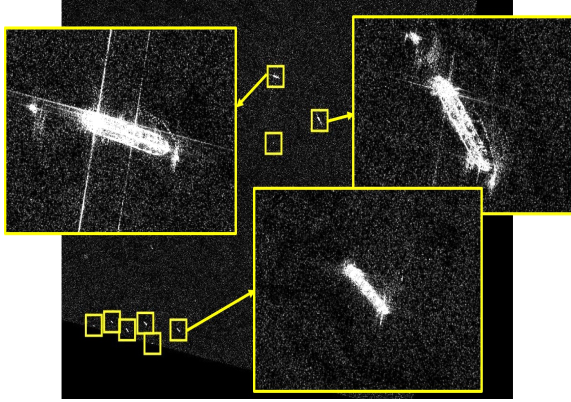


그림 4. SAR 객체 탐지 결과
Fig. 4. Result of SAR target detection.

수행하였다. 그림 5와 그림 6은 임의의 2 가지 객체에 대한 해상도 향상 결과를 보여준다. RELAX를 이용한 결과에서는 추출된 주요 산란점들을 분명하게 보이기 위해, 이들을 흰색 박스로 두껍게 표기하여 추가적으로 도시하였다(그림 5(e), 그림 6(e)). 그림 5와 그림 6에서 외삽 기법의 경우, 거리 및 방위 방향의 총 데이터 수가 원 데이터 수에 비해 각각 3배씩 증가하도록 하였다. 또한, RELAX와 MUSIC의 경우에도 거리 및 방위 방향으로 원 데이터의 샘플링 수보다 3배 많은 수의 샘플링을 수행하여 알고리즘을 적용하였다.

그림 5와 그림 6에서 세 가지 기법 모두 기존 KOMPSAT-5 객체 SAR 영상의 해상도를 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 외삽을 이용한 결과 영상의 경우, 원 영상에 비해 점상 강도 분포 함수(point spread function: PSF)의 폭이 줄어들고, 부엽(sidelobe) 성분이 감소하는 것을 볼 수 있다. MUSIC과 RELAX를 이용한 결과 영상의 경우, 원 영상에 비해 표적의 주요한 산란점들만을 추출하여 객체 분석을 용이하게 할 수 있음을 확인할 수 있다.

정량적인 분석을 수행하기 위해, 객체 1에 대하여 각 해상도 향상 기법을 적용한 후, 결과 영상들의 대비(contrast)를 비교하였다. 대비는 레이다 영상의 초점 품질(focus quality)을 평가하는데 주로 이용되며, 일반적으로 대비가 높을수록 레이다 영상의 초점 품질이 향상된다고 볼 수 있다^[6]. 결과 영상의 대비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

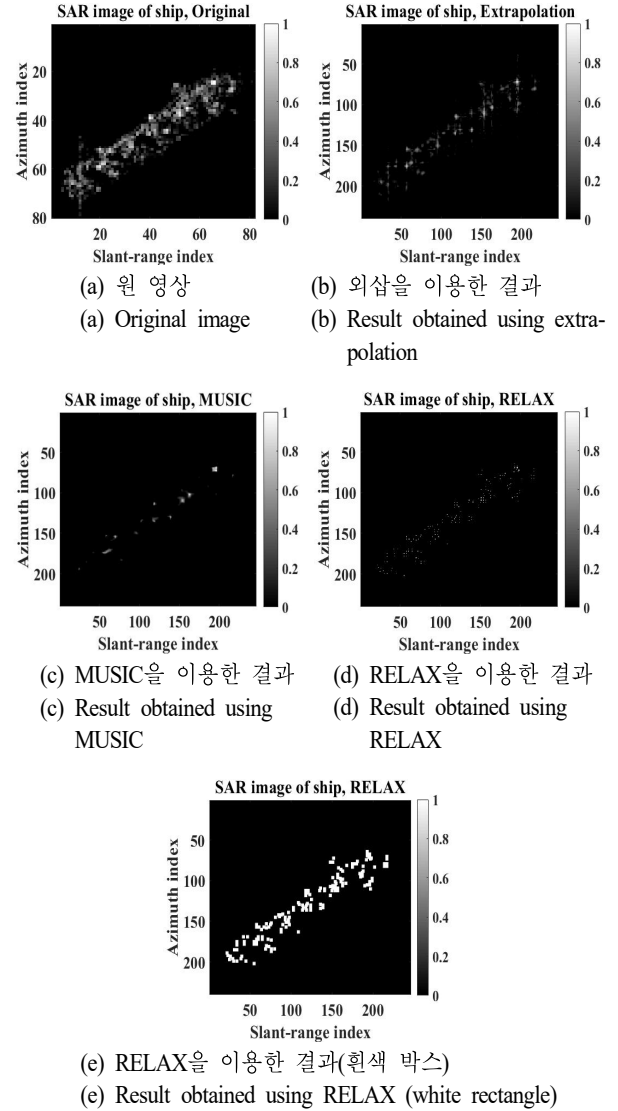


그림 5. 객체 1에 대한 해상도 향상 결과
Fig. 5. Result of improvement of resolution for target 1.

$$C(I[m,n]) = \frac{\sigma(|I[m,n]|^2)}{E(|I[m,n]|^2)} \quad (3)$$

여기서, $I[m,n]$ 은 해상도 향상을 수행한 결과 영상, $\sigma(|I[m,n]|^2)$ 은 $|I[m,n]|^2$ 의 표준편차, $E(|I[m,n]|^2)$ 은 $|I[m,n]|^2$ 의 평균이다.

이 때, 잡음에 대한 대비의 변화를 확인하기 위해 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio: SNR)가 10 dB에서 40 dB 까지 10 dB 간격으로 변화하도록 부가 백색 가우시안 잡

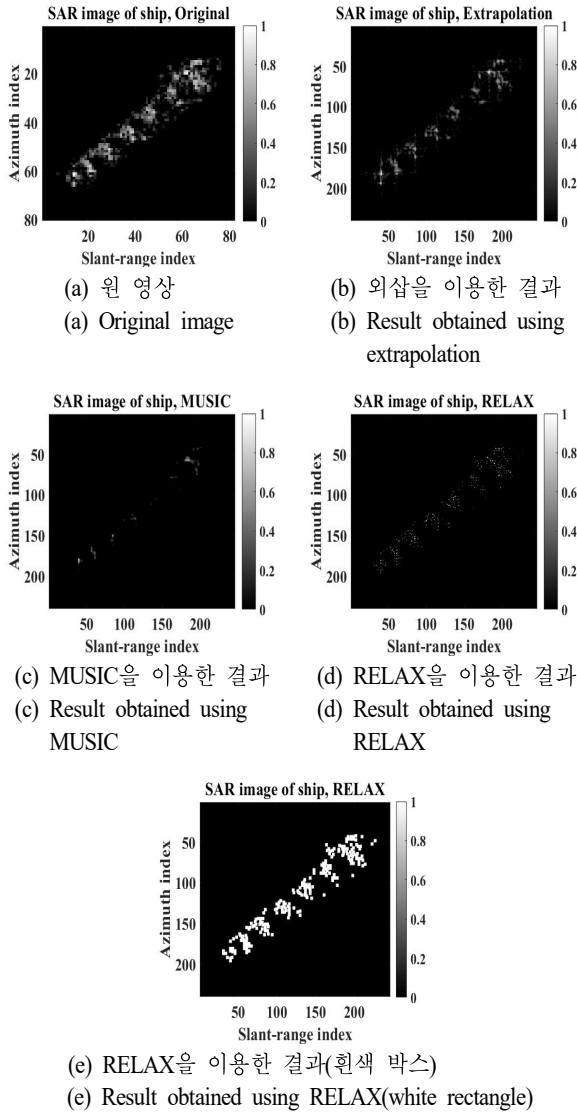


그림 6. 객체 2에 대한 해상도 향상 결과
Fig. 6. Result of improvement of resolution for target 2.

음(additive white Gaussian noise: AWGN)을 주파수 영역의 데이터에 더하여 실험을 수행하였다. 표 2는 SNR에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비를 보여준다.

표 2에서 해상도 향상을 적용한 영상들이 원 영상에 비해 높은 대비를 보임을 확인할 수 있다. 특히, MUSIC 및 RELAX 기법의 경우 30 이상의 큰 대비를 갖는 영상을 형성하여 원 영상의 초점 품질을 크게 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

표 2. SNR에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비
Table 2. Contrast of results for target 1 versus SNR.

Algorithm	SNR [dB]			
	10	20	30	40
Original	9.59	9.59	9.59	9.59
Extrapolation	14.52	16.80	17.46	17.59
MUSIC	37.51	40.34	41.88	40.34
RELAX	39.50	36.14	36.37	35.94

MUSIC 기법의 경우, 부 어레이(subarray) 크기나 방향벡터(direction vector)의 샘플링 수에 따라 그 성능이 변화된다. 따라서 이러한 파라미터들의 변화에 따른 MUSIC 기법의 성능을 추가적으로 분석하였다. 먼저, SNR을 30 dB로 고정한 후, 방향벡터의 샘플링 수를 거리 및 방위 방향으로 원 데이터의 3 배가 되도록 정하였다. 그 후, 부 어레이 크기를 원 데이터 수의 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 배로 감소시키며, 결과 영상들의 대비를 분석하였다. 부 어레이의 크기가 1일 경우 부 어레이의 개수는 1 개이며, 부 어레이의 크기가 감소할수록 부 어레이의 개수는 증가하게 된다.

표 3은 부 어레이 크기에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비를 보여준다. 표 3에서 부 어레이 크기가 작아질수록 결과 영상의 대비가 증가하며, 원 데이터 수의 1/3 이하가 되면 포화되는 것을 볼 수 있다. 또한, 부 어레이 크기가 원 데이터 크기와 동일할 경우, 결과 영상의 대비는 0에 가까운 값을 보이며, 표적의 산란점들을 올바르게 추정하지 못하였다. 이는 MUSIC 기법을 적절히 수행하기 위해 최소한 두 개의 부 어레이를 이용하여 공간적 평활화(spatial smoothing)를 수행해야 하기 때문이다^[3].

다음으로, SNR을 30 dB로 고정한 후, 부 어레이 크기를 원 데이터 수의 1/3로 고정하였다. 그 후, 거리 및 방위 방향으로의 방향벡터의 샘플링 수를 각각 원 데이터의

표 3. 부 어레이 크기에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비
Table 3. Contrast of results for target 1 versus subarray size.

Algorithm	Subarray size				
	1	1/2	1/3	1/4	1/5
MUSIC	0.006	15.76	41.88	42.52	42.28

표 4. 샘플링 수에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비
Table 4. Contrast of results for target 1 versus number of sampling.

Algorithm	Number of sampling				
	1	2	3	4	5
MUSIC	35.46	42.41	41.88	34.97	33.82

1, 2, 3, 4, 5배로 증가시키며, 결과 영상들의 대비를 분석하였다.

표 4는 샘플링 수에 따른 객체 1에 대한 결과 영상들의 대비를 보여준다. 표 4에서 샘플링 수가 원 데이터의 2 배 일 때, 결과 영상은 가장 높은 대비를 보이며, 샘플링 수가 더 커질수록 대비가 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있다.

즉, 부 어레이 크기 및 샘플링 수를 적절히 조정하여 MUSIC 기법을 수행하여야 최적화된 해상도 향상 결과를 획득할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 KOMPSAT-5 영상에 대한 해상도 향상 기법의 적용 가능성을 탐색하기 위해, 다양한 해상도 향상 기법을 KOMPSAT-5 영상에 적용한 후, 그 성능을 분석하였다. 상세하게는 SAR 표적 탐지를 수행하여 획득한 객체 SAR 영상에 외삽, MUSIC, RELAX 기법을 적용하였다. 결과적으로, 기존 객체 SAR 영상에 비하여, 주요 산란 점들에 대한 PSF의 폭이 줄어들고 부엽 성분이 감소됨으로써 분석 및 관독에 효과적인 영상을 획득할 수 있음을 육안으로 확인할 수 있었다. 또한, 결과 영상의 대비를 이용한 정량적 분석을 수행함으로써, 향상된 초점 품질을 갖는 영상을 획득할 수 있음을 확인하였다. 본 논문의 결

과는 기존 해상도 향상 기법들이 KOMPSAT-5 SAR 영상에도 효과적으로 적용될 수 있음을 의미한다. 따라서 KOMPSAT-5 영상을 이용한 객체 분석 및 관독을 수행할 시, 해상도 향상 기법을 활용한다면 그 효율성을 크게 높일 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] I. J. Gupta, M. J. Beals, and A. Moghaddar, "Data extrapolation for high resolution radar imaging," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 11, pp. 1540-1545, Nov. 1994.
- [2] J. Li, P. Stoica, "Efficient mixed-spectrum estimation with applications to target feature extraction," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 44, no. 2, pp. 281-295, Feb. 1996.
- [3] J. W. Odendaal, E. Bamard, and C. W. I. Pistorius, "Two-dimensional superresolution radar imaging using the MUSIC algorithm," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 10, pp. 1386-1391, Oct. 1994.
- [4] 박종일, 김경태, "표적 구분을 위한 ISAR 영상 기법에 대한 연구," *한국전자과학회논문지*, 19(3), pp. 294-303, 2008년 3월.
- [5] M. Tello, C. Lopez-Martinez, and J. J. Mallorqui, "A novel algorithm for ship detection in SAR imagery based on the wavelet transform," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 2, no. 2, pp. 201-205, Apr. 2005.
- [6] J. Wang, X. Liu, and Z. Zhou, "Minimum-entropy phase adjustment for ISAR," in *IEE Proceedings-Radar Sonar and Navigation*, Aug. 2004, vol. 151, no. 4, pp. 203-209.

이 승 재 [한국항공우주연구원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4527-1619>



2012년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

2014년 2월: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)

2018년 2월: 포항공과대학교 전자공학과 (공학박사)

2018년 3월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 원격탐사, 레이더 표적인식, 레이더 영상 처리, 레이더 신호처리

채 태 병 [한국항공우주연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2360-4953>



1993년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)

1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)

2008년 10월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~현재: 한국항공우주연구원 책임연구원

[주 관심분야] 마이크로웨이브 통신, 안테나, 레이더 원격탐사, 레이더 신호처리