

Editorial

다목적실용위성 영상처리 및 분석

이광재 ^{1)*} · 오관영 ²⁾ · 채성호 ²⁾ · 이선구 ¹⁾

KOMPSAT Image Processing and Analysis

Kwang-Jae Lee ^{1)*} · Kwan-Young Oh ²⁾ · Sung-Ho Chae ²⁾ · Sun-Gu Lee ¹⁾

Abstract: The Korea multi-purpose satellite (KOMPSAT) series consisting of multi-sensors has been used in various fields such as land, environmental monitoring, and disaster analysis since its first launch in 1999. Recently, as various information processing technologies (high-speed computing technology, computer vision, artificial intelligence, etc.) that are rapidly developing are utilized in the field of remote sensing, it has become possible to develop more various satellite image processing and analysis algorithms. In this special issue, we would like to introduce recently researched technologies related to the KOMPSAT image application and research topics participated in the 2023 Satellite Information Application Contest.

Keywords: KOMPSAT, Remote sensing, Synthetic aperture radar, Change detection, Deep learning, Image matching

요약: 다중 센서로 구성된 다목적실용위성 시리즈는 1999년 1호 발사 후 현재까지 국토 및 환경 모니터링, 재난 분석 등 다양한 분야에서 활용되어 왔다. 최근 빠르게 발전하고 있는 각종 정보처리기술(고속 컴퓨팅 기술, 컴퓨터 비전, 인공지능 등)들이 원격탐사 분야에서도 활용됨에 따라 보다 다양한 위성영상 처리 및 분석 알고리즘 개발이 가능하게 되었다. 본 특별호에서는 최근 연구된 다목적실용위성 영상 활용 관련 기술과 2023 위성 정보활용 경진대회에 참여한 연구주제에 관하여 소개하고자 한다.

주요어: 다목적실용위성, 원격탐사, SAR, 변화탐지, 딥러닝, 영상 정합

Received December 5, 2023; Accepted December 9, 2023; Published online December 31, 2023

¹⁾ 한국항공우주연구원 위성활용부 책임연구원(Principal Researcher, Satellite Application Division, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Republic of Korea)

²⁾ 한국항공우주연구원 위성활용부 선임연구원(Senior Researcher, Satellite Application Division, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Republic of Korea)

* Corresponding author: Kwang-Jae Lee (kjlee@kari.re.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우주기술은 대표적인 민군 겸용기술로 기술 파급효과가 높다. 다양한 우주기술 기반의 우주산업은 우주 경제(space economy)로 표현될 만큼 연관 산업을 활성화시키고 신규 시장 창출 가능성이 크다. 우주기술의 대표적인 산물인 인공위성은 1957년 스푸트니크 1호를 시작으로 오늘날까지 다양한 형태로 개발되어 왔다. 과거에는 군사목적의 위성이 많았다면 현재는 민간 상업용 위성이 대부분을 차지하고 있다. 미국, 유럽, 일본, 캐나다, 독일 등의 많은 민간기업은 다양한 비즈니스 모델 기반의 기술혁신을 통해 새로운 위성을 개발하고 서비스 시장을 창출하고 있다. 오늘날 뉴스페이스(new space) 시대에 민간기업은 막대한 자본을 바탕으로 우주기술 혁신의 주체로 부상하고 있다.

최근 민간기업의 초소형 위성군(micro satellite constellation)과 인공지능(artificial intelligence, AI) 등 첨단기술의 발전으로 다양한 위성영상 서비스 산업이 등장하고

있다. 위성 탑재체 기술의 발달로 위성영상의 공간해상도가 높아지고 분광밴드의 수가 늘어남에 따라 영상의 용량은 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 다량의 영상을 신속하게 처리하고 분석하기 위해서는 AI, 빅데이터, 클라우드 등과 같은 정보기술(information technology)과의 연계 활용은 필수적이다. Orbital Insight, Planet 등 해외의 많은 위성영상 관련 업체들은 Fig. 1과 같이 딥러닝(deep learning) 기술을 활용하여 관심 정보만을 추출하여 제공하는 등 다양한 비즈니스 모델을 개발하여 운영 중에 있다.

미국, 러시아, 영국, 캐나다 등 해외 우주개발 선진국들은 1950~1960년대부터 인공위성을 발사한 것에 비해 우리나라는 1990년 초부터 본격적인 우주개발을 시작하였다. 그러나 1996년 수립된 우주개발 중장기 계획을 시작으로 정부의 본격적인 투자에 힘입어 해외 선진국 수준의 인공위성 개발 기술을 확보하였다. 정부의 고해상도 영상정보 수요 충족과 재난 등 다양한 분야에 활용하기 위해 개발된 다목적실용위성 시리즈는 1999년

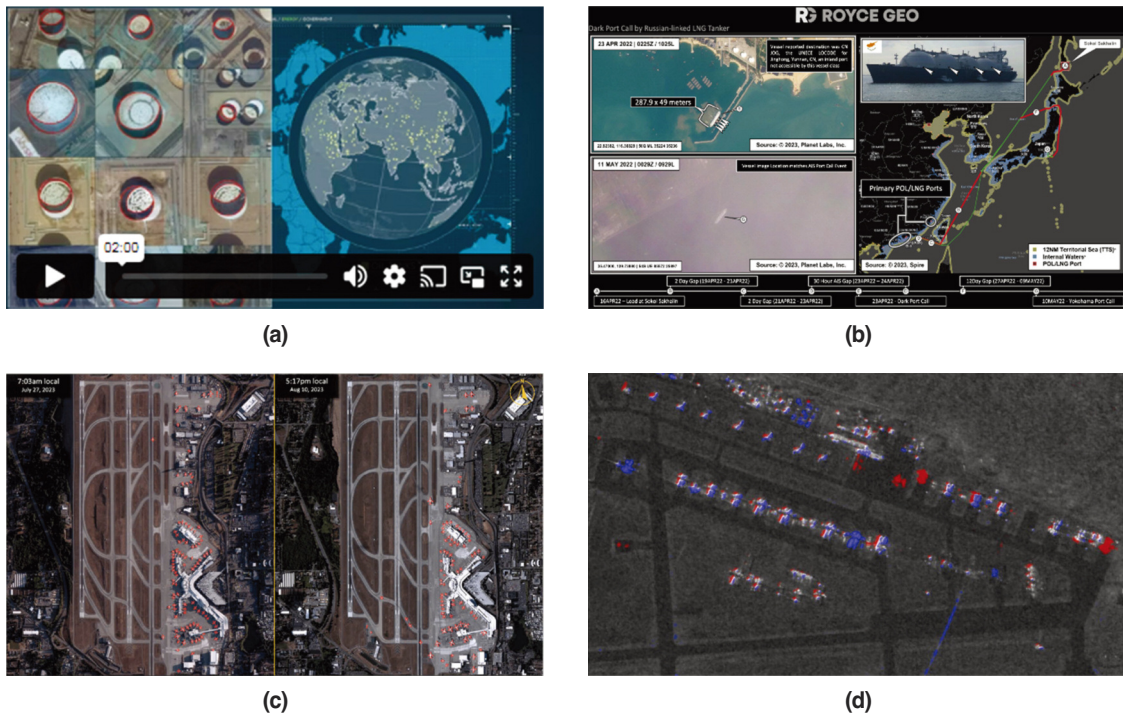


Fig. 1. Example of interest information extraction and analysis based on deep learning. (a) Oil tank monitoring (source: Orbital Insight, <https://www.orbitalinsight.com>). (b) Ship detection and tracking (source: Planet, <https://www.planet.com>). (c) Object detection and change monitoring (source: BlackSky, <https://www.blacksky.com>). (d) Day and night constant monitoring (source: SpaceKnow, <https://www.spaceknow.com>).

12월 1호 발사를 시작으로 2호(2006년), 3호(2012년), 5호(2013년), 3A호(2015)가 발사되었다.

현재 3호, 5호, 3A호가 정상운영 중에 있으며 지금까지 정밀 주제도 제작, 국토 변화감시, 환경 모니터링, 산불 등 각종 재난분야 등에서 활용되어 왔다. 또한 고해상도 광학, synthetic aperture radar (SAR), 중적외(mid-wave infrared, MIR) 센서로 구성된 다목적실용위성 시리즈는 각종 영상처리 및 분석 알고리즘 연구에 활발히 사용되어 왔으며, 최근 몇 년 사이에도 다목적실용위성 시리즈 위성영상을 이용한 다양한 연구가 이루어졌다 (Jung et al., 2022; Kim et al., 2022a; Chae et al., 2022a; Lee et al., 2022; Chae et al., 2022b; Kim et al., 2022b; Kim, 2022; Won and Eo, 2022; Jang and Park, 2022; Lee and Lee, 2021).

미국, 유럽, 일본 등에서는 공공 또는 민간기업에서 SpaceNET 등과 같이 새로운 위성영상 활용 기술을 개발하고 아이디어를 도출하기 위한 다양한 경진대회를 개최하고 있다. 한국항공우주연구원은 2022년부터 위성영상 활용 아이디어를 발굴하고 기술 개발 연구를 독려하기 위해 위성정보활용 경진대회를 개최하고 있다. 2023년 경진대회에서는 학생부와 일반부로 나누어 경진대회를 진행하였으며 학생부 22개 팀과 일반부 14개 팀이 참가하였다. 서면심사와 발표심사를 통해 선정된 수상팀은 과학기술정보통신부 장관상 등이 수여되었다.

본 특별호에서는 다목적실용위성 시리즈 위성영상의 처리, 분석 및 활용과 관련된 5편의 연구 논문과 2023년 위성정보활용 경진대회에서 수상작으로 선정된 연구주제 5편에 대해서 소개하고자 한다.

2. 다목적실용위성 영상처리 및 분석

다목적실용위성은 1999년 발사된 1호를 시작으로 지금까지 20년 이상 국내 다양한 현업분야에서 활용되어 왔으며, 정부는 위성영상의 공공목적 수요를 보다 체계적으로 지원하고 활성화 시키기 위해서 위성정보활용 협의체를 구성하여 운영하고 있다. 과거 항공사진을 기반으로 다양한 공간정보를 생성하고 활용해왔던 공공부문은 항공사진과 유사한 특성을 가지는 광학 위성영상에 대한 선호도가 높는데 비해 SAR, MIR 영상에 대

한 관심은 낮은 편이다. SAR 영상은 전천후 관측이 가능하다는 장점으로 재난 등에 따른 피해분석, 지반침하 관측 등에 유용하게 활용될 수 있으며, 이와 관련된 연구도 매우 활발히 수행되고 있다(Hakim et al., 2023; Chae et al., 2021; Kim et al., 2019).

그러나 공공부문의 경우 SAR 영상에 대한 낮은 이해도와 자료처리 기술의 부족 등으로 인해 활용도가 낮은 것이 현실이다. 본 특별호에서 Hong et al. (2023)은 다중시기 SAR 영상을 이용한 도시, 재난, 식생 분야에서의 변화탐지 사례 및 기술에 대해서 분석하고 변화탐지 가시화 및 분석 방안을 제시하였다. 연구에서는 변화가 존재하는 영역을 보다 효과적으로 표출하기 위한 방법으로 변화 영역 마스크 표출, 히트맵 표출, 변화량 그래프 표출 방법을 제시하였는데, 이와 같은 표출 방법은 고해상도 SAR 영상을 활용한 홍수 피해분석, 관심객체 탐지 및 변화 분석 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

인류의 산업활동이 시작됨과 동시에 대기오염 문제는 끊임없이 제기되었다. 우리나라에서 발생하는 대기오염은 국내에서 자체적으로 발생하는 오염물질과 편서풍의 영향으로 주변국의 오염물질이 유입되는 경우로 구분할 수 있다. 외부로부터 유입되는 오염원의 경우 정확한 배출원의 위치를 파악하기 쉽지 않다는 문제가 존재하기 때문에 대응에 한계가 있다. 최근 딥러닝을 기반으로 한 객체 탐지 및 영상 분할 기술이 빠르게 개발됨에 따라 대규모 오염물질을 배출하는 객체에 대한 탐지 및 분류도 가능하게 되었다.

Park et al. (2023)은 다목적실용위성 3호와 3A호 영상을 이용하여 오염물질 배출시설을 분류하기 위한 연구를 수행하였으며, 이를 위해 우리나라와 태국 지역의 산업단지와 채석장에 대한 딥러닝 학습자료를 제작하였다. 의미론적 분할(semantic segmentation)에 뛰어난 성능을 보이는 U-Net 모델을 이용하여 학습 후 산업단지와 채석장을 분류하고 정확도 평가를 수행함으로써 오염물질 배출시설에 대한 분류 가능성을 확인하였다. 향후 연구를 지속적으로 발전시킨다면 주변국의 대기오염 물질 배출원을 보다 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 예상된다.

과거 도시에 비해 자연환경이 비교적 잘 보존되어 있던 농촌지역도 각종 산업활동의 증가 및 농업환경 변화

등으로 인해 무분별한 개발이 가속화되고 있다. 오늘날 농촌의 경제적 가치는 식량 생산뿐만 아니라 생태 자연 환경 보존 및 활용을 통한 관광산업까지 매우 폭넓게 적용될 수 있다. 따라서 농촌의 무질서한 개발을 관리하여 지속 가능한 농촌 공간계획을 수립하기 위해서는 체계적인 모니터링이 요구된다. 특히 무분별한 태양광 발전 시설과 공장 및 축사 등은 농촌 주민 생활의 불편을 초래하고 농업환경 및 생태환경을 훼손시키는 요인으로 작용하고 있다.

본 특별호에서 Gong et al. (2023)은 한국항공우주연구원에서 매년 생성하는 모자이크영상을 이용하여 농촌지역의 축사, 공장, 태양광 패널에 대한 분류를 수행하였다. 당해연도 촬영된 영상을 이용하여 제작되는 모자이크영상은 매년 생성되기 때문에 연 단위 변화탐지 등 모니터링에 있어 효과적으로 활용될 수 있는데, 연구에서는 축사, 공장, 태양광 패널 등에 대한 학습자료를 제작하고 U-Net 모델을 활용하여 이들 시설을 분류하였다. 비록 클래스간의 데이터 불균형이 존재하였으나 공장, 태양광 패널은 비교적 높은 분류 정확도를 나타냄에 따라 향후 알고리즘 개선을 통해 연 단위 변화 탐지를 보다 체계적으로 모니터링할 수 있을 것으로 기대된다.

시계열 영상을 이용한 변화탐지, 모니터링 등에 있어 가장 기초적인 영상 전처리에는 영상 정합(image matching)이다. 저해상도의 위성영상과 달리 고해상도 위성영상의 경우 매년 촬영 각, 촬영 방향 등이 달라서 기복 변위로 인해 영상 간의 상대적인 위치가 일치하지 않는다. 따라서 이러한 상대적인 위치 차이를 보정하지 않으면 변화탐지의 오차는 더욱 크게 발생할 수 있어서 영상 정합을 통한 전처리는 반드시 필요하다. 과거 전통적인 영상처리(image processing) 방법을 기반으로 영역기반(area-based) 또는 특징기반(feature-based) 영상정합 방법 등이 많이 사용되었으나, 최근에는 딥러닝 기술을 활용한 영상정합 연구가 활발히 진행되고 있다(Bai et al., 2022).

Yu et al. (2023)은 딥러닝 기반 OffsetNet을 통해 다목적실용위성 2호, 3호, 3A호 영상을 정합하는 방법론을 제시하였다. 기존 딥러닝 모델 학습에 많은 영상 데이터 쌍이 필요하다는 문제점을 해결하기 위해서 데이터 증강 기법을 적용하고 오프셋 양을 예측하는 OffsetNet 모델을 적용하여 영상 정합을 수행하였다. 연구에 사용

된 영상의 촬영 각이 서로 다름에도 불구하고 전반적인 정합 정확도는 높게 나타남에 따라 향후 시계열 영상 정합에 있어 유용한 전처리 기법으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

오늘날의 기상·기후 이변은 지구온난화로 인해 발생하는 문제로 탄소 저감은 전 세계적인 문제로 대두되고 있다. 그러나 광활한 지역에 걸쳐 있는 산림, 녹지 등 탄소 흡수원을 파악하기 위해서는 막대한 인력과 예산이 소요되기 때문에 위성영상이 많이 활용되고 있다. Kim et al. (2023)은 위성영상을 기반으로 식생지수를 활용한 수목탐지 방법을 제시하였는데 위성영상으로 산출한 16종의 식생지수를 이용하여 수목의 존재 여부를 판단하는 모델을 제작 후 수목의 위치를 예측하는 지도를 제작하였다. 비록 연구에 사용된 Sentinel-2의 공간해상도가 높지 않으나 제안된 수목 예측 모델을 통해 대로변 주변의 수목 위치도 예측할 수 있음을 제시하였다. 따라서 향후 다목적실용위성 고해상도 위성영상을 활용한다면 정주지 온실가스 인벤토리(inventory) 산정을 위한 수목탐지를 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

앞서 서술한 바와 같이 본 특별호에는 2023년 위성정보활용 경진대회 수상작 중에서 5편의 연구주제에 대해서 소개하고자 한다. 우선 Yu et al. (2023)은 위성영상을 이용하여 탄소흡수원 역할을 수행하는 내륙습지에 대한 시계열적인 공간변화 분석을 수행하였다. 오늘날 국제사회는 기후위기 대응을 위해 온실가스 배출 규제는 강화하는 한편 산림, 습지 등의 체계적인 보전 및 복원 등을 통해 지속 가능한 자연기반의 해법을 찾기 위해 노력하고 있다. 연구에서 Yu et al. (2023)은 Sentinel-1 C-band 위성영상을 이용하여 운곡습지의 풍수기와 갈수기의 침수지역 면적을 분석하여 변화량을 확인하고 드론을 활용하여 시계열적인 공간변화를 정량적으로 산출하고 검증함으로써 탄소흡수원인 내륙습지에 대한 체계적인 공간 분석 방안을 제시하였다.

한편 Baek et al. (2023)은 다중시기에 획득된 Sentinel-1 영상을 이용한 수체 탐지 결과를 활용하여 운곡습지와 연안습지를 연결하는 고창 인천강 하구 습지의 지형변화를 분석하였다. 과거 토사유입에 따른 지속적인 육지화로 2020년 이후 복원 사업이 진행됨에 따라 지형변화 분석의 필요성이 대두되었는데, Baek et al. (2023)은 2014

년 10월부터 2023년 3월 사이에 촬영된 다수의 Sentinel-1 영상에 대한 전처리와 정규화 후 수체를 탐지하고 다중시기 픽셀빈도 기법을 적용하여 지형변화 분석을 수행하였다. 비록 정량적인 검증자료가 존재하지 않았으나 연구를 통해 전체 구간에서 습지의 면적이 증가한 것을 확인함에 따라 습지 복원이 원활히 진행되고 있는 것으로 추정할 수 있었다.

위성영상의 공간해상도 향상은 보다 정밀한 변화탐지 분석을 가능하게 하는 장점을 가지며, 이를 활용한 다양한 변화탐지 연구가 수행되었다(Chae et al., 2022b; Mo et al., 2021; Seo et al., 2021; Song et al., 2020). 그러나 개발된 변화탐지 알고리즘을 적용하여 활용하기 위해서는 소프트웨어로 구현이 필요하기 때문에 많은 시간과 예산이 소요되는 경우가 있다. 또한 특정목적에 의해 개발된 소프트웨어의 경우 추가 확장의 어려움도 존재하기 때문에 지속적인 활용에 어려움이 발생할 수 있다.

최근 오픈 소스(open source) 기반으로 개발된 각종 공개 소프트웨어는 사용자가 개발한 알고리즘을 플러그인(plugin) 형태로 추가하여 사용할 수 있도록 지원하고 있다. Kim et al. (2023)은 위성영상 기반의 다양한 변화탐지 알고리즘의 활용도를 높이기 위하여 Quantum Geographic Information System (QGIS) 플러그인 기반으로 시스템을 구축하는 방안을 제시하였다. 제안된 시스템은 알고리즘의 편리한 확장성을 가지며 공개 소프트웨어를 활용함으로써 기존의 다양한 기능을 손쉽게 활용할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 제안 방안으로 시스템을 개발하면 연구 결과에 대한 보다 손쉬운 검증과 성과에 대한 활용성을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

위성영상의 다양한 활용 분야 중의 하나가 토지피복 분류(land cover classification)이다. 토지피복분류는 지표의 다양한 피복형태를 각 클래스별로 분류하여 주제정보로 나타내는 것으로 저해상도 영상부터 고해상도 영상에 이르기까지 광범위하게 활용되며 다양한 분류방법이 사용되고 있다. 최근 컴퓨팅 기술의 빠른 발전 속도에 힘입어 각종 딥러닝 기술이 위성영상 처리에 활용되고 있다. Yoon and Kwon (2023)은 좌표 해시 인코더(hash encoder)를 활용한 토지피복 분류 모델을 제시하였다. 기존 U-Net 모델만을 활용한 영상 분류와 좌표 특징을 추출하여 U-Net 모델과 결합한 영상분류 방법을

비교하여 제안한 좌표 해시 인코더를 이용한 토지피복 분류 방법이 단순 U-Net 모델만을 사용하였을 때 비해 분류 성능이 우수한 것을 확인하였다.

단일 센서 위성영상만으로 추출할 수 있는 정보는 한계가 있어서 이중센서 또는 이중정보 간의 융합 활용에 대한 관심이 높다. 영상 합성(image pansharpening) 방법은 가장 많이 알려진 융합 기술 중의 하나이지만, 단순히 고해상도 칼라영상을 생성하는 것이 목적이 아니라 생성된 고해상도 칼라영상을 통해 원하는 정보를 효과적으로 추출하는 것이 최종 목적이다. Yu and Suh (2023)은 정지궤도 위성 간의 자료 융합을 통해 고해상도 안개 탐지 알고리즘 개발 방안을 제시하였다. 안개는 각종 교통 운행, 생활 환경 등에 심각한 영향을 끼치기 때문에 다양한 관측장비를 이용하여 안개를 탐지하고 있다.

GEO-KOMPSAT-2A (GK2A) / Advanced Meteorological Imager (AMI)는 관측 주기는 빠르지만, 공간해상도가 낮으며, GEO-KOMPSAT-2B (GK2B) / Geostationary Ocean Color Imager-II (GOCI-II)는 공간해상도가 높다는 장점이 있어 연구에서는 GK2A/AMI 정보와 GK2B/GOCI-II 정보를 융합 활용한 고해상도 안개 탐지 시도를 통해 기존 단일센서 정보만을 활용할 때보다 안개 탐지 성능이 향상됨을 제시하였다.

3. 결론

우리나라는 제4차 우주개발진흥 기본계획을 통해 우주 경제 글로벌 강국 실현을 위한 첨단 우주기술 확보를 추진하고 있다. 위성개발 기술의 비약적인 발전으로 다양한 고품질의 위성영상이 빠르게 공급됨에 따라 영상을 신속하게 처리, 분석 및 활용하기 위한 기술 확보 노력이 지속해서 수행되어야 한다. 본 사설에서는 다목적실용위성 영상처리 및 분석을 위해 수행된 최근 연구 내용과 2023년 위성정보활용 경진대회에서 수상한 연구 주제에 대해서 소개하였다. 본 특별호를 통해 다양한 위성영상 처리 및 분석기술을 공유하고자 하며, 후속 위성 등을 활용하기 위한 최신의 기술정보를 소개하기 위해 특별호를 지속해서 발행하고자 한다.

사사

이 논문은 한국항공우주연구원 “정부 위성정보활용 협의체 지원(FR23K00)” 사업과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 “위성정보 빅데이터 활용지원 체계 개발(RS-2022-00165154)” 사업의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Baek, W.-K., Lee, M.-J., Yu, H.-E., Kim, J.-C., and Ryu, J.-H., 2023. Mapping topography change via multi-temporal Sentinel-1 pixel-frequency approach on Incheon River Estuary wetland, Gochang, Korea. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1747-1761. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.7>
- Bai, Y., Zhao, Y., Shao, Y., Zhang, X., and Yuan, X., 2022. Deep learning in different remote sensing image categories and applications: Status and prospects. *International Journal of Remote Sensing*, 43(5), 1800-1847. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2048319>
- Chae, H., Rhim, H., Lee, J., and Choi, J., 2022a. Exploratory study of the applicability of Kompsat 3/3A satellite pan-sharpened imagery using semantic segmentation model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-4), 1889-1900. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.4.3>
- Chae, S.-H., Lee, K.-J., and Lee, S., 2021. Two-dimensional velocity measurements of Campbell Glacier in East Antarctica using coarse-to-fine SAR offset tracking approach of KOMPSAT-5 satellite image. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6-3), 2035-2046. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.6.3.11>
- Chae, S.-H., Oh, K.-Y., and Lee, S., 2022b. Development of proto-type program for automatic change detection and cueing of multi-temporal KOMPSAT-5 SAR imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-4), 1955-1969. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.4.9>
- Gong, S.-H., Jung, H.-S., Lee, M.-J., Lee, K.-J., Oh, K.-Y., and Chang, J.-Y., 2023. Semantic segmentation of hazardous facilities in rural area using U-Net from KOMPSAT ortho mosaic imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1693-1705. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.3>
- Hakim, W. L., Fadhillah, M. F., Lee, K.-J., Lee, S.-J., Chae, S.-H., and Lee, C.-W., 2023. Land subsidence and groundwater storage assessment using ICOPS, GRACE, and susceptibility mapping in Pekalongan, Indonesia. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 5218225. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3324043>
- Hong, S., Chae, S., Oh, K., and Yang, H., 2023. A case study of amplitude-based change detection methods using synthetic aperture radar images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1791-1799. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.11>
- Jang, J.-C., and Park, K.-A., 2022. Land use and land cover mapping from Kompsat-5 X-band co-polarized data using conditional generative adversarial network. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(1), 111-126. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.1.9>
- Jung, S., Shin, H., Kim, D., Song, A., and Lee, W. H., 2022. Aircraft velocity and altitude estimation through time offset calculation of KOMPSAT-3 satellite. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6-4), 1879-1887. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.4.2>
- Kim, B. G., Ahn, C. J., and Ha, G., 2023. A study on

- building a scalable change detection system based on QGIS with high-resolution satellite imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6–3), 1763–1770. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.8>
- Kim, D., Won, Y. J., Han, S., and Han, H., 2022a. A study on the retrieval of river turbidity based on KOMPSAT-3/3A images. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6–1), 1285–1300. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.23>
- Kim, T., Yun, Y., Lee, C., and Han, Y., 2022b. Fine-image registration between multi-sensor satellite images for global fusion application of KOMPSAT-3/3A imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6–4), 1901–1910. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.4.4>
- Kim, Y., 2022. Derivation of surface temperature from KOMPSAT-3A mid-wave infrared data using a radiative transfer model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(4), 343–353. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.4.2>
- Kim, Y., Lee, M., and Lee, S., 2019. Detection of change in water system due to collapse of Laos Xe pian-Xe namnoy dam using KOMPSAT-5 satellites. *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6–4), 1417–1424. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.4.10>
- Lee, J.-W., Han, Y.-H., Lee, J.-T., Park, J.-H., and Kim, G.-H., 2023. Development of tree detection methods for estimating LULUCF settlement greenhouse gas inventories using vegetation indices. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6–3), 1721–1730. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.5>
- Lee, K.-J., Kim, Y.-S., Chae, S.-H., Oh, K.-Y., and Lee, S.-G., 2022. KOMPSAT image processing and application. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(6–4), 1871–1877. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.4.1>
- Lee, S.-J., and Lee, K.-J., 2021. Efficient generation of artificial training DB for ship detection using satellite SAR images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 11764–11774. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3128184>
- Mo, J.-S., Seong, S.-K., and Choi, J.-W., 2021. Change detection of building objects in urban area by using transfer learning. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(6–1), 1685–1695. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.6.1.16>
- Park, C.-W., Jung, H.-S., Lee, W.-J., Lee, K.-J., Oh, K.-Y., Chang, J.-Y., and Lee, M.-J., 2023. Classification of industrial parks and quarries using U-Net from KOMPSAT-3/3A Imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6–3), 1679–1692. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.2>
- Seo, J., Park, W., and Kim, T., 2021. Comparison of pixel-based change detection methods for detecting changes on small objects. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(2), 177–198. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.2.1>
- Song, C., Wahyu, W., Jung, J., Hong, S., Kim, D., and Kang, J., 2020. Urban change detection for high-resolution satellite images using U-Net based on SPADE. *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6–2), 1579–1590. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2020.36.6.2.8>
- Won, T., and Eo, Y. D., 2022. An experiment on image restoration applying the cycle generative adversarial network to partial occlusion Kompsat-3A image. *Korean Journal of Remote Sensing*, 38(1), 33–43. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.1.3>
- Yoon, Y., and Kwon, D., 2023. Land cover classifier using coordinate hash encoder. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6–3), 1771–1777. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.9>
- Yu, H.-E., Cho, Y.-I., Lee, S.-W., and Lee, M.-J., 2023. Spatial analysis of carbon storage in satellite radar imagery utilizing Sentinel-1: A case study of the

- Ungok wetlands. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1731–1745. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.6>
- Yu, H.-Y., and Suh, M.-S., 2023. Development of high-resolution fog detection algorithm for daytime by fusing GK2A/AMI and GK2B/GOCI-II data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1779–1790. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.10>
- Yu, J.-W., Park, C.-W., and Jung, H.-S., 2023. KOMPSAT optical image registration via deep-learning based OffsetNet model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 39(6-3), 1707–1720. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2023.39.6.3.4>