

## 시멘틱세그멘테이션을 활용한 태양광 패널 고장 감지 시스템 구현

신광성<sup>1</sup> · 신성윤<sup>2\*</sup>

### Implementation of Photovoltaic Panel failure detection system using semantic segmentation

Kwang-Seong Shin<sup>1</sup> · Seong-Yoon Shin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Associate professor, Department of Digital Contents Engineering, Wonkwang University, 54538 Korea

<sup>2\*</sup>Professor, Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University, 54150 Korea

#### 요약

대단위 신재생 에너지 발전단지의 효율적인 유지관리를 위해 드론의 활용이 점차 증가하고 있다. 오래전부터 태양광 패널을 드론으로 촬영하여 패널의 유실 및 오염 등을 관리하고 있다. 본 논문에서는 열화상카메라를 장착한 드론을 이용하여 획득된 태양광패널 이미지에서 아크, 단선, 크랙 등의 고장 유무를 판별하기 위해 시멘틱세그멘테이션 기법을 이용한 분류모델을 제안한다. 또한 적은 데이터셋으로도 강인한 분류 성능을 보이는 U-Net의 튜닝을 통해 효율적인 분류모델을 구현하였다.

#### ABSTRACT

The use of drones is gradually increasing for the efficient maintenance of large-scale renewable energy power generation complexes. For a long time, photovoltaic panels have been photographed with drones to manage panel loss and contamination. Various approaches using artificial intelligence are being tried for efficient maintenance of large-scale photovoltaic complexes. Recently, semantic segmentation-based application techniques have been developed to solve the image classification problem. In this paper, we propose a classification model using semantic segmentation to determine the presence or absence of failures such as arcs, disconnections, and cracks in solar panel images obtained using a drone equipped with a thermal imaging camera. In addition, an efficient classification model was implemented by tuning several factors such as data size and type and loss function customization in U-Net, which shows robust classification performance even with a small dataset.

**키워드** : 시멘틱세그멘테이션, 태양광패널, 드론, 유닛

**Keywords** : Segmentation, Photovoltaic panel, UAV, U-Net

Received 6 October 2021, Revised 6 October 2021, Accepted 20 October 2021

\* Corresponding Author Seong-Yoon Shin(E-mail:s3397220@kunsan.ac.kr, Tel:+82-63-850-7270)

Professor, Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University, 54150 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.12.1777>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

환경오염 및 경제적인 다양한 목적에 의하여 태양광, 풍력 등 신재생에너지 자원을 활용하는 방안이 제시되었고 현재는 효율성을 극대화할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 현재까지 추진되고 있는 신재생 에너지의 개발 형태는 대부분 대규모, 대량화된 형태를 가진다. 이렇게 대규모의 신재생 에너지 발전 설비의 확장에 따라 유지관리 및 효율적인 운영관리의 필요성이 요구된다[2].

기존에는 대형화된 발전설비를 점검하기 위하여 인력을 이용해야 했기 때문에 비용 및 효율성 면에서 많은 한계가 있었다. 하지만 4차 산업혁명 핵심 기술 요소를 접목하여 ‘전문가 시스템을 이용한 조사’ 방식을 개발하면 시간 및 비용적 한계를 극복할 수 있다. 실질적으로 수자원공사 및 농어촌 공사에서 관리하는 수상 태양광의 현장점검 업무에 많은 애로가 발생하고 있으며 이를 해결하기 위한 기술수요가 증가하고 있다[3].

대규모 태양광 단지의 유지관리를 위해 기존의 원격 모니터링 방식으로는 모듈 불량 검출이 제한적이기 때문에 현장진단이 불가피하나, 전수조사에는 상당한 시간과 비용이 소요되어 빅데이터 및 인공지능 기반의 능동적 고정밀 불량 검출 시스템의 개발이 필요하다.

에너지분야의 기술전환기에 들어선 지금 대규모화된 대형 발전설비를 효율적으로 관리하기 위한 방법으로 4차산업혁명의 기반기술과의 융합을 통한 접근이 필수적이다. 그 방법으로 지능형 경로탐색기능을 갖추고 각종 카메라를 장착할 수 있는 드론을 활용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 특히 대규모 해상태양광 단지를 관리하기 위하여 열화상카메라를 장착한 드론을 통해 태양광 패널의 오염 및 유실을 찾아내기 위한 노력들이 계속되고 있다[4].

시멘틱세그멘테이션은 대규모 국토정보를 분석하는데도 사용되며[5], 차량내의 탑승인원을 구분하기 위한 연구에서도 사용된다[6]

본 논문에서는 이미지분할 영역에서 기존의 객체인식 모델에 비해 우수한 결과를 도출할 수 있는 시멘틱세그멘테이션(Semantic Segmentation) 기법을 이용하여 아크, 크랙, 단선 등의 고장유형을 자동으로 검출하는 연구를 수행하였다. 시멘틱세그멘테이션 기술은 이미지(image) 내의 모든 픽셀에 대해 클래스 분류를 수행한

다. 따라서 이미지내의 특정 객체를 구분해내는 것뿐만 아니라 모든 객체 및 영역에 대해 분류를 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 태양광패널의 다양한 고장 및 오염을 감지하기 위해서는 한 패널내에 존재하는 같은 종류의 고장 및 오염에 대해 각 픽셀단위로 클래스 매핑이 가능하므로 일반적인 객체감지기법에 비해 효율적이다. 시멘틱세그멘테이션은 U-Net, DeepLAB v3, SegNet 등의 여러 모델이 존재하며 각 모델별 다양한 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 상대적으로 적은 데이터셋을 이용하여 높은 정확도를 얻을 수 있는 U-Net을 이용하여 태양광패널의 고장 유무를 판단하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 시멘틱세그멘테이션의 특성 및 특징을 분석하고 이를 이용한 다양한 응용분야와 드론을 활용한 고장감지 기법 등에 대해 기술한다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 태양광패널의 고장 감지 시스템에 대해 기술하고 4장에서는 구현시스템을 통한 실험 및 결과에 대해 기술하고 끝으로 5장에서 결론을 기술한다.

## II. 관련연구

열화상카메라를 장착한 드론을 이용하여 태양광 패널의 고장을 검출하기 위한 연구는 다양하게 수행되었다. 10여년 전부터 한전 계열사들은 가입자들의 전력생산량의 감소 문제를 해결하기 위해 드론과 열화상카메라를 이용하여 태양광패널의 고장을 검사해왔다. 나무, 배설물 등 자연 장애물들에 의한 생산력감소 뿐만 아니라 패널 자체의 고장을 찾아내어 빠르게 교체함으로써 전력생산량을 최상으로 유지하고자 하였으나 촬영된 이미지를 사람의 눈으로 일일이 구분해내는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 딥러닝 기반의 인공지능 기술을 이용하여 촬영된 열화상 이미지에서 고장부분을 자동으로 구분해내기 위한 방법이 필요하다.

최근 딥러닝 기반의 Semantic Segmentation 기법인 FCN의 등장으로 이미지 분할 분야의 발전에 크게 기여하였지만, FCN 학습과정에서 공간정보가 사라지는 문제점이 발견되었고, 이를 해결하기 위한 다양한 시멘틱 세그멘테이션 모델이 개발되었다. 시멘틱세그멘테이션 기술은 이미지내의 모든 픽셀에 대해 클래스 분류를 수행한다. 따라서 이미지내의 특정 객체를 구분해내는 것

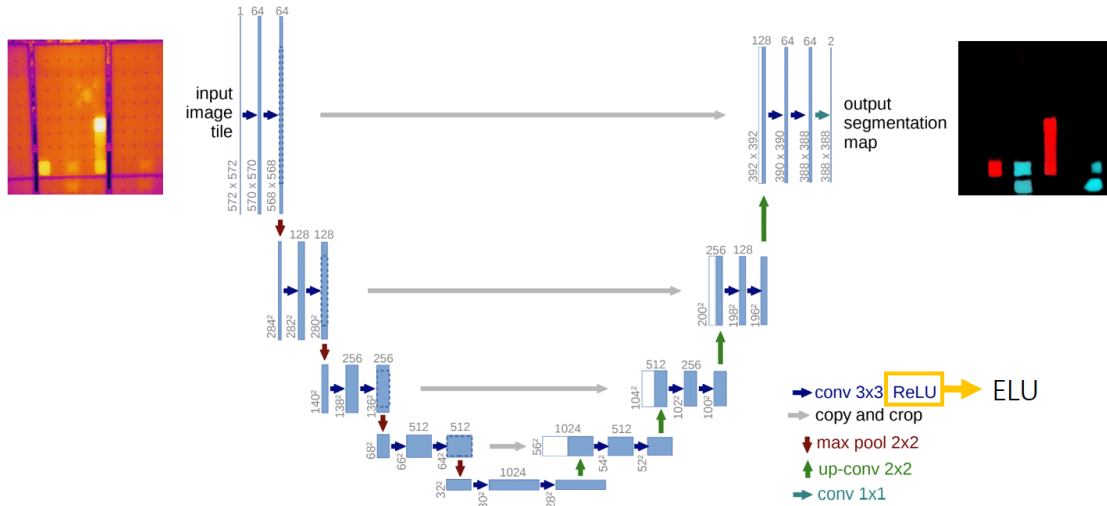


Fig. 1 Proposed Deep Neural Network Architecture

뿐만 아니라 모든 객체 및 영역에 대해 픽셀 기반으로 분류를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인하여 다양한 분야에서 시멘틱세그멘테이션을 이용하는 사례가 늘고 있다.

최석근 등은 UAV로 촬영한 농경지를 대상으로 최신 딥러닝 기술 중 시멘틱세그멘테이션기법인 DeepLab V3+, FC-DenseNet, FRRN-B 를 적용하여 영상분류를 수행하였으며[7], 박세진 등은 비정형 도로 인식을 위한 딥뉴럴네트워크를 제안하였고 픽셀기반 클래스 매핑을 통한 영상분류 영역에서 시멘틱세그멘테이션의 우수성을 입증하였다[8].

시멘틱세그멘테이션을 통한 분류 성능을 좌우하는 가장 큰 요소는 데이터의 정형성이다[9]. 또한 태양광패널의 열화상 데이터셋은 상대적으로 정형성이 뛰어나다. 따라서 단선, 아크, 크랙 등 태양광 패널의 일반적인 고장유형을 시멘틱세그멘테이션을 통해 자동으로 구분하고자 한다. 이를 통해 이미지의 각 픽셀에 해당하는 클래스를 표시할 수 있게 된다[10].

본 연구에서는 시멘틱세그멘테이션의 대표적인 모델인 U-Net, DeepLAB v3, SegNet 모델 중 비교적 적은 데이터셋에서 높은 인식률을 보이는 U-Net의 변형 모델을 이용한 시스템을 제안한다.

### 2.1. U-Net

U-Net은 Biomedical 분야에서 이미지 분할(Image

Segmentation)을 목적으로 제안된 End-to-End 방식의 Fully-Convolutional Network 기반 모델이다. FCN을 기반으로 확장한 네트워크이며 Skip connection 사용하고 데이터증강을 사용함으로써 적은 데이터셋을 가지고도 더욱 정확한 세그멘테이션을 구현할 수 있다.

#### 2.1.1. Network Architecture

그림 1은 본 연구에서 태양광패널의 고장 부분을 감지하기 위해 적용한 U-Net 모델의 구조를 보여준다. U-Net은 기본적으로 인코더 기능을 하는 Contracting Path와 디코더 기능을 하는 Expanding Path로 구성된다. Contracting Path는 입력 이미지의 context포착을 목적으로 하며 다음과 같은 절차로 수행된다.

1. 3x3 convolutions을 두 차례씩 반복 (패딩 없음)
2. 활성화 함수는 ReLU
3. 2x2 max-pooling (stride: 2)
4. Down-sampling 마다 채널의 수를 2배로 늘림

Expanding Path는 세밀한 localization을 목적으로 하며 높은 차원의 채널을 갖는 up-sampling을 수행하며 다음과 같은 절차로 수행된다.

1. 2x2 convolution (Up-Sampling)
2. 3x3 convolutions을 두 차례씩 반복 (패딩 없음)
3. Up-Conv를 통한 Up-Sampling 마다 채널의 수를 반으로 줄임

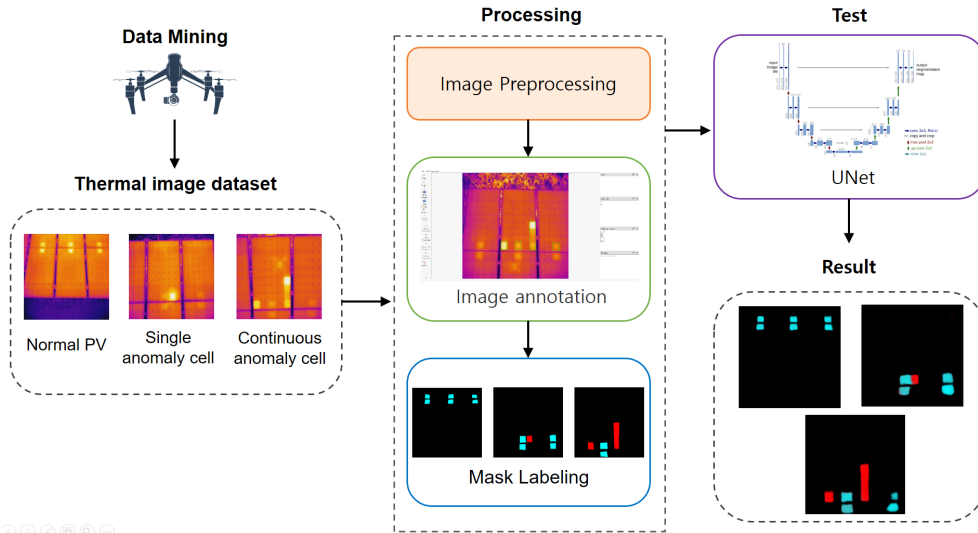


Fig. 2 Overall system configuration

4. 활성화 함수는 ReLU
5. Up-Conv된 특징맵은 Contracting path의 테두리가 Cropped된 특징맵과 concatenation 함
6. 마지막 레이어에 1x1 convolution 연산

Table. 1 Number of Data-set

Data set	Negative	Positive
Train Set	135	500
Validation Set	35	150
Test Set	35	150
Total	205	800

### III. 태양광패널 고장감지 모델

그림 2는 본 연구에서 수행한 태양광패널 고장감지를 위한 시멘틱세그멘테이션 모델을 나타낸다.

드론으로 촬영된 태양광패널의 열화상이미지를 라벨링을 수행한 후 그림1의 U-Net구조를 이용하여 고장을 검출하는 전체적인 과정을 보여준다. 각 단계별 진행과정은 다음과 같다.

#### 3.1. 데이터획득

15,000평방미터 면적의 전라북도 고창 성산2발전소의 태양광 패널 열화상 데이터에 대하여 고장부분과 정상부분을 구분하는 작업을 수행하였다. 고장 이미지는 상대적으로 수집하기 어렵기 때문에 데이터크롤링을 통해 고장 패널이미지를 추가 수집하였다. 표1에서 보는것과 같이 전체 1005장의 이미지 중 크랙, 단선, 아크 등의 고장이 있는 이미지는 총 205장이며 정상이미지는 800를 선별하였다.

#### 3.2. 데이터 라벨링

그림 3은 데이터라벨링을 수행하기 위한 labelme 프로그램을 보여준다. 패널의 고장 부분은 크랙, 아크, 단선 등 모든 종류의 고장을 하나의 클래스로 구분하였다. 또한 패널의 연결 커넥터의 이미지 특성이 고장과 유사한 패턴을 가지고 있어 커넥터 부분을 별도의 클래스로 구분하였으며 그 외 영역은 배경으로 분류하였다. 각 클래스별로 영역을 선택하면 해당이미지에 대응하는 json 파일이 생성된다.

#### 3.3. 모델 학습

학습을 수행하기 위해 우선 4000 × 3000크기의 원본 영상을 처리속도를 높이기 위해 640 × 512사이즈로 리사이즈하였다.

라벨링 과정에서 생성된 json 파일이 이미지파일과 동시에 입력되어 json파일에 작성된 좌표값을 이용하여 마스크를 생성하는 과정을 거친다.

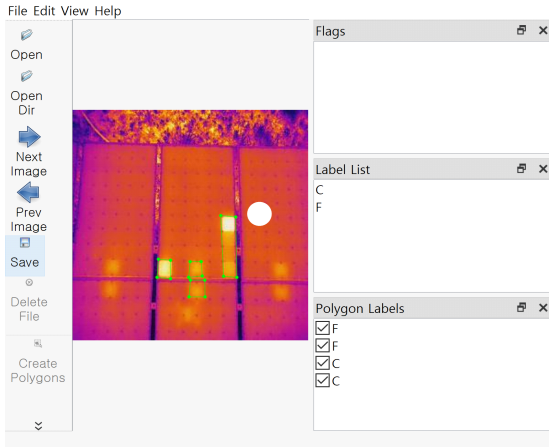


Fig. 3 data labelling

U-Net은 훈련 데이터가 적어도 높은 인식률을 보이는 장점이 있는데 상대적으로 적은 태양광패널 고장 이미지 데이터의 한계를 극복하기 위하여 TensorFlow의 데이터증강 라이브러리를 활용하여 데이터증강을 수행하였다.

활성화함수는 ELU를 사용하는데 이는 ELU가  $x < 0$  일 때 ELU 활성화 함수 출력의 평균이 0(zero mean)에 가까워지기 때문에 편향 이동(bias shift)이 감소하여 그라디언트 소실 문제를 줄여주는 장점이 있기 때문이다.

다양한 하이퍼 파라미터 조합을 통하여 아담옵티마이저가 U-Net에 효과가 있다는 것을 발견함에 따라 옵티마이저로 아담옵티마이저를 사용하였고 0.0001의 Learning Rate를 설정하였다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 4.1. 구현환경

실험을 위한 컴퓨터 시스템은 Intel I7 8700 3.2GHz CPU 1개, 16GB DRAM, NVIDIA 1060 6GB GPU 사양으로 구성되었으며 Windows 10 환경에서 파이썬 버전 3.6, 텐서플로우-GPU 1.15 에서 실험을 수행하였다.

##### 4.2. 실험 결과

그림 4는 dice coefficient를 보여준다. epoch가 123일 때 dice coefficient가 수렴하여 early stop을 수행하였으며 dice coefficient는 0.975를 기록하였다.

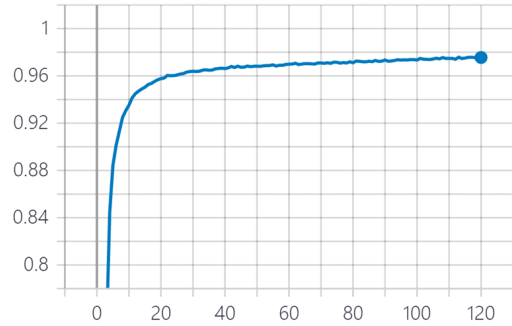


Fig. 4 dice coefficient

그림 5는 Multi-class classification에 주로 사용되는 Categorical Cross-Entropy Loss값을 보여준다.

이는 분류문제에서 주로 사용되는 활성화함수와 손실(loss)이다. 분류 문제에서는 MSE(mean square error) loss 보다 CE loss가 더 빨리 수렴함에 따라서 multi class 에서 하나의 클래스를 구분할 때 softmax와 CE loss의 조합을 많이 사용한다.

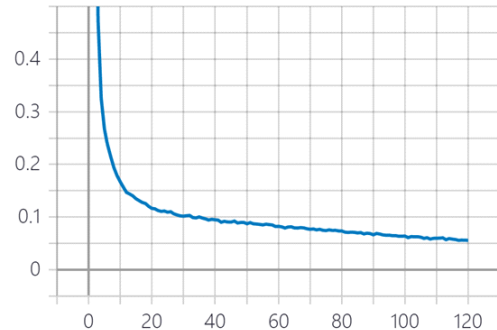
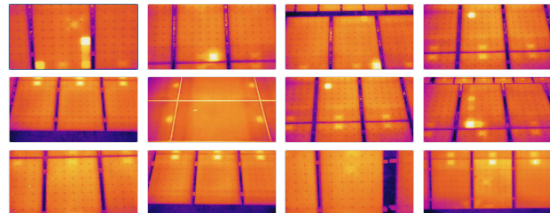


Fig. 5 categorical cross-entropy loss

그림 6은 제안 된 U-Net 모델을 통해 학습된 모델을 이용하여 분류되는 이미지와 예측 마스크를 보여준다. 상단의 12개 이미지는 입력이미지이며 하단의 12개 이미지는 고장을 분류하는 마스크를 보여준다.



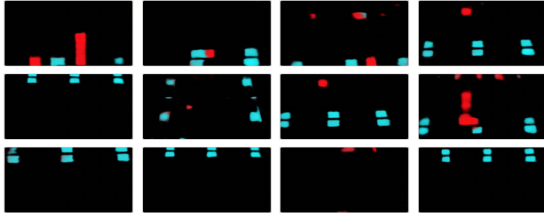


Fig. 6 segmentation result

## V. 결 론

본 논문에서는 대규모태양광 발전단지에 설치되어있는 태양광패널의 효율적인 유지관리를 위하여 드론으로 촬영된 항공 열화상이미지에서 고장 부분을 검출하는 시멘틱세그멘테이션 모델을 제안하였다.

상대적으로 적은 고장이미지를 활용하기 위해 시멘틱세그멘테이션 모델 중 적은 데이터셋에서도 높은 분류 성능이 입증된 U-Net 모델을 이용하였고 연산속도를 빠르게 하기 위하여 입력영상의 크기를 조정하였고 활성화함수와 손실함수의 튜닝을 통하여 만족할 만한 결과를 도출하였다.

실험과정에서 정상 태양광패널의 열화상 이미지 중 컨넥터 부분이 고장 패널의 고장유형과 유사하여 그 유사성이 결과에 영향을 미치는 것을 발견하였다. 향후 연구에서는 클래스 정의 단계에서 positive와 negative사 이 유사성이 있을 때 학습에 미치는 영향을 최소화하는 방안에 대해 연구를 수행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

Funding : This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT). (No. NRF-2019R1G1A1087290)

Special thanks to Tae-Woo Kim, Eun-Ji Shin and Ye-Ji Choi from the Department of Digital Content Engineering, Wonkwang University, for their contributions to the experimentation and data organization.

## REFERENCES

- [ 1 ] R. Manish, C. Michael, A. Armani, B. Dmitrii, L. Alena, and B. Christian, "A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030," *Journal of cleaner production*, vol. 199, pp. 687-704. 2018.
- [ 2 ] J. H. Ha, E. Y. Hwangbo, and J. Y. Ahn, "Understanding and Activating the Role of Market Actors in the Process of Mini-PV Installation in Seoul: Based on Practice Theory," *New & Renewable Energy*, vol. 17, no. 1, pp. 7-18, 2021.
- [ 3 ] H. Y. Jeong and J. E. Park, "Creating Shared Value Strategies of Public Enterprises in the Era of the Fourth Industrial Revolution: Focusing on the Case of Korea Water Resources Corporation(K-water)," *Korea Business Review*, vol. 24, pp. 7-35, 2020.
- [ 4 ] J. Nie, T. Luo, and H. Li, "Automatic hotspots detection based on UAV infrared images for large-scale PV plant," *Electronics Letters*, vol. 56, no. 19, pp. 993-995, 2020.
- [ 5 ] S. H. Lee and J. S. Kim, "Land cover classification using semantic image segmentation with deep learning," *Korean Journal of Remote Sensing*, vol. 35, no. 2, pp. 279-288, 2019.
- [ 6 ] S. J. Jang and J. W. Jang, "Deep Learning Image Processing Technology for Vehicle Occupancy Detection," *The Korea Institute of Information and Communication Engineering Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 8, pp. 1026-1031, Aug. 2021.
- [ 7 ] S. K. Choi, S. K. Lee, Y. B. Kang, S. K. Seong, D. Y. Choi, and G. H. Kim, "Applicability of Image Classification Using Deep Learning in Small Area: Case of Agricultural Lands Using UAV Image," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 38, no. 1, pp. 23-33, 2020.
- [ 8 ] S. J. Park, J. H. Han, and Y. S. Moon, "Efficient Deep Neural Network Architecture based on Semantic Segmentation for Paved Road Detection," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 11, pp. 1437-1444, 2020.
- [ 9 ] H. Y. Lim, Y. R. Lee, M. K. Jee, M. H. Go, H. D. Kim, and W. I. Kim, "Efficient inference of image objects using semantic segmentation," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 67-76, 2019.
- [ 10 ] N. Darapaneni, A. Jagannathan, V. Natarajan, G. V. Swaminathan, S. Subramanian, and A. R. aduri, "Semantic Segmentation of Solar PV Panels and Wind Turbines in Satellite Images Using U-Net," *IEEE 15th International*

*Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS),*  
pp. 7-12, Nov. 2020.



**신광성(Kwang-Seong Shin)**

2005.3 전북대학교 컴퓨터공학과 석사  
2014.3 군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사  
2008.8~2018.2 군산대학교 컴퓨터정보공학과 겸임교수  
2018.3~현재 원광대학교 디지털콘텐츠공학과 부교수  
※관심분야: 컴퓨터비전, 인공지능, VR/AR, Hologram, Tele presence



**신성윤(Seong-Yoon Shin)**

군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사  
한국정보통신학회 국문지부회장  
군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수  
※관심분야: 멀티미디어 시스템 및 응용, 가상현실, 텔레메틱스