Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 25, No. 6 pp. 286-291, 2024

https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.6.286
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

SRCNN 기반 이미지 초해상화를 통한 드론탐지 성능 향상 연구

정성우, 마정목*
국방대학교 국방과학학과

A Study on the Improvement of Drone Detection Performance through SRCNN-based Image Super Resolution

Seongwoo Jeong, Jungmok Ma*
Department of Defense Science, Korea National Defense University

요 약 최근 드론의 상용화와 더불어 그 불법적 사용 및 군사적 활용이 급증함에 따라, 도시 지역에서의 신속하고 정확한 드론 탐지는 점차 중요해지고 있다. 그러나 현재 대부분의 공공 CCTV 시스템이 저해상도로 운영되고 있어, 작은 크기의 드론을 정확하게 식별하고 추적하는데 상당한 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 이미지 초해상화 기술을 도입하여 저해상도 CCTV 이미지의 품질을 개선하고, 그 결과 드론 탐지 성능이 어떻게 향상되는지를 탐구한다. 본 연구에서는 SRCNN을 활용하여 저해상도 이미지의 해상도를 향상시키고, 향상된 이미지에서의 드론탐지 성능을 YOLOv8을 사용하여 분석하였다. 실험 결과, 상공 및 복잡한 배경을 포함한 환경에서 초해상화 처리를 거친 이미지들이 저해상도 이미지에 비해 드론탐지 성능에서 유의미한 개선을 보였다. 구체적으로, 상공 배경에서 저해상도 이미지의 드론 탐지 성능은 평균 AP가 0.67에서 0.707로, 복잡한 배경에서는 0.773에서 0.812로 각각 향상되었으며, 이는 각각 약 5.52% 및 5.05%의 성능 개선을 의미한다. 본 연구의 방법론과 결과는 향후 드론탐지 기술의 발전에 중요한 기여를 할 것으로 기대되며, 도시지역 對드론 작전수행능력 향상에 도움이 되기를 기대한다.

Abstract The need for rapid and accurate drone detection in urban areas has become increasingly important due to the recent commercialization of drones and rapid increases in their illegal and military use. However, currently, most public CCTV systems operate at low resolution, which makes it difficult to identify and track small-sized drones accurately. To address this problem, this study introduces an image super-resolution technology that enhances the quality of low-resolution CCTV images and explores resultant improvements in drone detection performance. By utilizing SRCNN, the resolution of low-resolution images was enhanced, and YOLOv8 was then used to analyze improvements in drone detection performance. The experiment revealed that images processed with super-resolution in environments including the sky and complex backgrounds significantly improved drone detection performance compared to low-resolution images. Specifically, the drone detection performance of low-resolution images against a sky or a complex background improved from an average AP of 0.67 to 0.707 and an average AP of 0.773 to 0.812, respectively, which corresponded to performance improvements of 5.52% and 5.05%. The methodology devised during this study is expected to significantly contribute to drone detection technology and enhance abilities to conduct drone operations in urban areas.

Keywords : Drone in the City, Object Detection, Super Resolution, SRCNN, YOLOv8

*Corresponding Author : Jung-mok Ma(Korea National Defence Univ.)
email: jxm1023@gmail.com
Received April 1, 2024 Revised May 14, 2024
Accepted June 7, 2024 Published June 30, 2024

1. 서론

최근 드론의 상용화로 인해 드론 운용인구가 늘어남에 따라 드론 비행제한구역과 비행금지구역에서의 불법 드론운용이 증가하고 있다. 또한, 드론에 감시장비, 폭발물, 화기 등 다양한 장비 부착을 통해 군사적 목적으로의 사용도 늘어나는 추세이다. 특히 3차원 전장인 도시지역에서는 드론을 활용하여 지상뿐만 아니라 건물 상층에 대한 정찰 및 공격이 용이하기 때문에 작전간 적 드론의 실시간 위치를 파악하는 것이 중요해졌다.

그러나 기존 드론 탐지체계의 원리인 레이더와 광학카메라는 건물 등 장애물이 많은 도시지역 내에서는 효과 발휘가 제한된다. 도시지역에는 치안 유지를 목적으로 CCTV가 다수 설치되어 있으며, 군에서는 지자체와 협력하여 CCTV를 활용한 동선추적식 작전을 수행하기도 한다. 불법드론 혹은 적 드론에 대한 탐지 및 추적에도 CCTV를 활용한다면 추가적인 감시장비를 설치할 필요가 없어 예산 절감효과가 있고, 지역별 CCTV관제센터의 협조를 통해 다수의 CCTV를 활용한 탐지 및 추적이 용이하다. 그러나 원거리 상공이나 복잡한 배경 안에서 비행중인 드론을 정확하게 식별해내기에는 CCTV의 화질이 낮아 어려움이 있다.

국내 공공분야 CCTV 중 노후되거나 100만 화소 미만의 저해상도 CCTV는 약 50%에 달하며[1] 이로 인한 실효성 문제가 종종 발생했다. 행정안전부는 200만 화소 미만의 CCTV는 영상분석과 객체인식이 제한되기 때문에, 2024년 말까지 6,106대의 저해상도 CCCTV를 교체한다고 발표했다[2]. 전국의 공공 CCTV가 303,374대[3] 인 것을 감안하면 드론을 정확하게 탐지해낼 정도의 인프라가 구축되려면 더 많은 비용과 시간이 필요할 것으로 보인다.

저해상도 CCTV의 단점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 초해상화를 활용하여 저해상도 이미지의 해상도를 개선하고자 한다. 이때, 도시와 관련된 환경의 특성을 포함한 드론 이미지를 사용하여 도시지역작전에 활용하고자 한다. 해당 이미지의 초해상화를 통해 해상도를 개선한 후 객체탐지 한다면 CCTV를 통한 드론탐지 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

초해상화를 통해 이미지의 화질을 개선하고, 초해상화가 객체탐지율에 미치는 영향을 분석한 연구는 Table 1과 같다.

Table 1. Research of object detection using super resolution

Researcher	Model		Target
	Super Resolution	Object Detection	
Kim et al.	Bicubic, SRCNN, SRGAN	YOLOv5	Plant
Cho et al.	SRGAN	YOLO	Ship
Shermeyer et al.	VDSR, RFSR	SIMRDWN	Vehicle Plane Boat
Magoulianitis et al.	DCSCN	Faset-RCNN	UAV

Kim et al.[4]은 작물의 병해충을 정확하게 진단하기 위해 3가지 초해상화 기법을 적용하였다. 초해상화를 통해 작물 이미지의 해상도를 높인 후 병해충 진단 테스트를 실시한 결과, 정확도가 향상되었다. Cho et al.[5]은 SAR(Synthetic Aperture Radar) 이미지를 이용한 선박 탐지 성능을 향상시키기 위해 초해상화 기법을 적용하였다. 초해상화를 통해 SAR 이미지의 해상도를 높여 선박 탐지 정확도를 향상시켰다. shermeyer et al.[6]는 위성이미지 내 다양한 객체들을 탐지하기 위해 초해상화 기법을 적용하여 객체탐지율을 향상시켰으며, 특히 고해상도의 이미지에 효과적이었다. Magoulianitis et al.[7]는 UAV 탐지시스템의 성능을 향상시키기 위해 초해상화 기법을 적용하였다. 탐지기가 획득한 이미지에 대해 초해상화를 적용한 결과, 탐지 성능이 향상되었다. 기존 연구들은 해상도가 높은 기존 이미지에 초해상화 기법을 적용하여 탐지 성능이 얼마나 향상되는지를 연구하였으나 CCTV 이미지처럼 원본 이미지 자체가 저해상도인 연구는 없다.

따라서 본 연구에서는 도시지역에서 비행중인 드론을 CCTV로 촬영한 것과 유사한 저해상도 이미지를 초해상화 했을 때의 탐지성능의 향상을 목적으로 한다. 빠른 속도가 장점인 초해상화 모델 SRCNN(Super Resolution Convolution Neural Network)을 사용하여 원본이미지를 저해상도 이미지와 초해상도 이미지를 생성한 후, 객체탐지 모델인 YOLO(You Only Look Once)를 활용하여 저해상도 이미지와 초해상도 이미지에서 각각 드론을 탐지하여 탐지 성능을 비교한다.

2장에서는 연구 흐름과 본 연구에서 사용하는 모델인 SRCNN과 YOLOv8n에 대해 설명하고, 데이터 구성, 평가지표 및 연구 결과에 대해 분석한다. 3장에서는 본 연

구의 성과, 제한사항, 향후 연구계획 및 활용방안을 제시한다.

2. 본론

2.1 연구 흐름

본 연구의 목적은 첫째, 초해상화 기술을 통한 저해상도 이미지의 해상도 개선이 객체탐지 성능 향상에 효과적인지, 둘째, 초해상화 이미지를 통해 탐지하는 드론이 어떤 배경에 있을 때 더 효과적인지 확인하는 것이다. 이를 위해 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 배경별 드론 이미지 데이터셋을 구성하고, SRCNN을 통해 초해상화하여 저해상도 이미지 데이터셋과 초해상도 이미지 데이터셋을 각각 구성한다. 구성된 해상도별 이미지 데이터셋에 대한 라벨링을 실시한 후 YOLOv8n을 통해 객체탐지 성능을 비교한다.

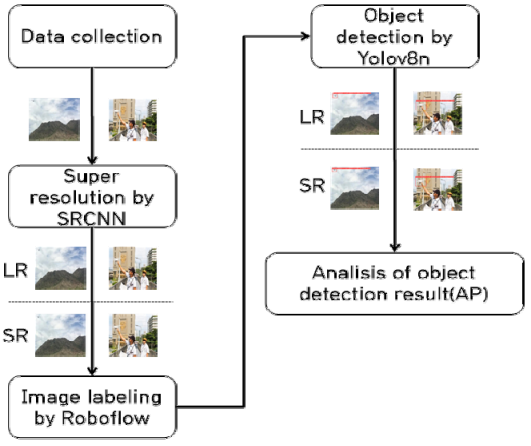


Fig. 1. Research flow chart

이미지 초해상화란 저해상도 이미지에 포함된 정보를 최대한 활용하여 실제와 가까운 초해상도 이미지를 생성하는 기법이다. 본 연구에서 초해상화를 위해 사용할 모델은 SRCNN이다.

SRCNN은 딥러닝 기반의 초해상화 모델이다. Dong은 초해상화를 위해 기존의 희소코딩기법(Sparse-Coding-based)을 딥러닝 버전인 SRCNN으로 재구성하였다. 이 모델은 가벼운 구조와 빠른 속도를 보였으며, 희소코딩 기법이나 인터폴레이션(Interpolation) 등 전통적인 초해상화 모델들에 비해 해상도 향상율이 높았다. SRCNN은 단일 이미지 초해상화(Single Image Super Resolution, SISR) 문제에 주로 사용하며, 구조가 단순하고 성능이 뛰어나다. SRCNN의 구조는 세 단계로 이루어져 있다. 패치 추출 및 표현(Patch extraction and representation) 단계에서는 입력 이미지의 패치를 추출하고, 이미지의 복잡한 특성을 더 잘 포착할 수 있도록 각 패치를 고차원의 특징 벡터로 변환하여 표현한다. 비선형 매핑(Non-linear mapping) 단계에서는 전 단계에서 추출된 패치의 특징을 비선형적으로 매핑하여 초해상도 패치의 표현을 얻는다. 이때, 중간층의 활성화 함수를 통해 저해상도 이미지와 초해상도 이미지 간의 관계를 학습하여 해상도 변환을 모델링한다. 재구성(Reconsstruction) 단계에서는 전 단계에서 얻은 초해상도 특징 맵을 사용하여 최종 초해상도 이미지를 생성한다. 이때, 하나 또는 여러개의 컨볼루션 레이어를 사용하여 모든 초해상도 특징을 결합하고, 픽셀 수준의 이미지로 변환한다. 각 단계의 연산은 합성곱 연산을 통해 수행되며, 수식은 Eq. (1), (2), (3)과 같다.

$$F_1(Y) = \max(0, W_1 * Y + B_1) \quad (1)$$

$$F_2(Y) = \max(0, W_1 * F_{1(Y)} + B_2) \quad (2)$$

$$F(Y) = W_3 * F_2(Y) + B_3 \quad (3)$$

Y는 입력이미지, W_1, W_2, W_3는 각 단계의 가중치, B_1, B_2, B_3는 각 단계의 편향, *는 합성곱 연산, max(0, x)는 ReLU 활성화 함수를 나타낸다[8].

객체탐지 모델인 YOLO는 컴퓨터 비전 분야에서 사용되는 객체탐지 모델로, 이미지 내의 객체를 식별하고 분류하는데 사용한다. 처리속도가 빠르고 정확도가 높은 특징을 가진다. 본 연구에서는 YOLO 중 사용하는 모델인 YOLOv8은 정확도와 속도가 개선된 최신 모델이며, 주요 기능으로는 고급 백본 및 넥 아키텍처, 앵커 프리 스플릿 Ultralytics 헤드, 최적화된 정확도-속도 트레이드오프, 다양한 사전 학습 모델 등이 있다. YOLOv8은 요구하는 작업에 따라 YOLOv8, YOLOv8-seg, YOLOv8-pose, YOLOv8-obb, YOLOv8-cls로 나뉘며, 각 버전은 탐지, 인스턴스 세분화, 포즈/키포인트, 방향탐지, 분류에 최적화되어있다[9]. 본 연구에서는 객체탐지 기능을 사용하므로 YOLOv8을 사용하며, 내부 파라미터 수(3.2M)가 적어 연산 속도가 가장 빠른 YOLOv8n 모델을 사용한다.

2.2 데이터 구성 및 학습 설정

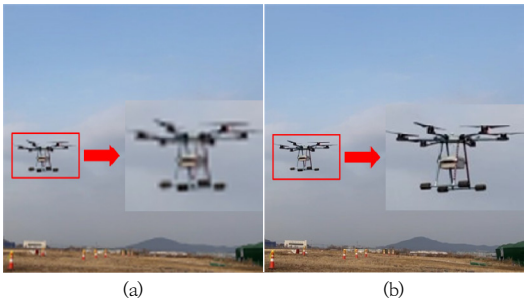
연구에 사용된 데이터셋은 Table 2에서 보는 바와 같이, 초해상화 학습 데이터로는 Kaggle의 T91 Image

dataset을 사용하였다. 이 데이터셋은 91개의 다양한 이미지(꽃, 건물, 자동차 등)로 구성되어 있으며, 데이터의 개수가 많지는 않지만, 자연이미지의 변이성을 충분히 포함하고 있고, SRCNN 모델의 효과적인 학습이 가능하다[8]. 특히, 학습률은 0.0003으로 설정하여 안정적인 수렴을 유도하였고, Adam 옵티마이저를 사용하여 학습 과정에서의 최적화 효율을 높였다. 배치 크기는 128로 설정하여 충분한 데이터 처리량을 확보하였고, 에포크 수는 30으로 설정하여 모델의 학습의 효율성을 높였다.

테스트 데이터는 저화질 CCTV의 특징을 포함하기 위해 인터넷을 통해 수집한 드론이미지를 100만 화소 미만의 이미지로 가공하여 구성하였다. Fig. 2 (a)와 같이 상공 배경의 드론 이미지 10장과 Fig. 2 (b)와 같이 건물 등 복잡한 배경의 드론 이미지 10장을 테스트 데이터셋으로 하여 총 111장을 데이터셋으로 구성하였다.

Fig. 2. Drone dataset
(a) Drone in the sky (b) Drone in complex background

객체탐지 연구를 위한 학습데이터로는 Roboflow의 드론이미지를 학습 데이터 356장, 검증 데이터 104장으로 활용하였으며, Fig. 3와 같이 SRCNN을 통해 생성한 저해상도 이미지 20장과 초해상도 이미지 20장을 테스트 데이터셋으로 하여, 총 500장을 데이터셋을 구성하였다.



(a) (b)

Fig. 3. Images generated by SRCNN
(a) Low resolution (b) Super resolution

Table 2. Dataset of Research

Research	Train	Validation	Test	Total
Super Resolution	91	-	20	111
Object detection	356	104	40	500

2.3 평가지표

객체탐지의 여러 평가지표 중 AP(Average Precision)를 활용하여 탐지 성능을 측정하였다. AP는 모델이 객체를 얼마나 잘 탐지하는지 평가하는 중요한 지표로서, 이를 이해하기 위해서는 정밀도(Precision)와 재현율(Recall)을 이해해야 한다.

정밀도는 모델이 객체로 예측한 것들 중 실제 객체로 올바르게 예측된 비율이고, 재현율은 실제 객체 주 모델이 객체로 올바르게 예측한 비율이다. 정밀도와 재현율 공식은 각 Eq. (4), (5)과 같다.

$$Precision = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ \neg atives} \quad (5)$$

AP는 재현율의 각 값에 대해 정밀도의 평균값으로 계산하는 것으로, 모델이 다양한 임계값에서 예측을 수행할 때 재현율의 함수로서 정밀도가 어떻게 변화하는지 측정하는 것이다. 이 과정은 PR(Precision-Recall) curve를 그리는 것과 관련 있다. AP는 PR curve 아래 면적의 넓이을 나타내는 값이며, AP가 높을수록 모델의 성능이 더 우수함을 의미한다.

2.4 연구 결과

본 연구는 Google Colaboratory pro로 실행했으며 세부 연구환경은 Table 2와 같다.

Table 3. Google colaboratory pro environment

Model	GPU	RAM	CUDA	Python	Frame work
SRCNN	Tesla T4	50.99GB	12.2	3.10.12	TensorFlow 2.15.0
YOLOv8n					Pytorch 2.1.0

초해상화를 통한 객체탐지 연구에 대한 결과는 Table 3과 같다. 상공 배경의 저해상도 이미지 10장의 AP 평균값은 0.67이고 초해상도 이미지 10장의 AP 평균값은 0.707로 탐지 성능이 5.52% 향상되었다. 복잡한 배경의

저해상도 이미지 10장의 AP 평균값은 0.773이고 초해상도 이미지 10장의 AP 평균값은 0.812로 탐지 성능이 5.05% 향상되었다.

Table 3. Comparison of AP average

	Average of AP		Comparison
	LR	SR	
sky	0.67	0.707	+ 0.037 (5.52%↑)
complex	0.773	0.812	+ 0.039(5.05%↑)

연구 결과를 분석해보면, 상공 배경 이미지와 복잡한 배경 이미지의 AP 평균값을 비교해보면 해상도에 관계없이 약 0.1 정도 복잡한 배경 이미지가 더 높은 것을 알 수 있다. 이는 상공 배경 이미지 내의 드론이 복잡한 배경 이미지 내의 드론에 비해 훨씬 작은 객체인 것이 원인으로 추측된다. 그리고 Fig. 4에서 보는바와 같이, 복잡한 배경 이미지의 AP 평균값은 0.039 증가했지만, 최대 증가량은 0.15인데 비해 최소 증가량은 0이다. AP의 증가량이 0.01이하인 경우는 10장 중 4장이며, 주변 배경은 복잡하지만 YOLOv8n이 탐지하는 바운딩박스 내에 드론과 배경이 겹쳐져있는 부분이 단순하다는 특징이 있다. 본 연구에서 발견한 객체 크기나 탐지될 객체와 겹쳐진 배경의 특성에 따라 객체탐지의 결과가 달라지는 현상은 추가적인 연구가 필요하다.

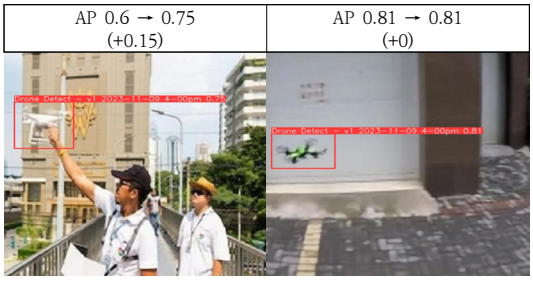


Fig. 4. Result of object detection
(a) Complex background in bounding box
(b) Simple background in bounding box

3. 결론

본 연구를 통해 SRCNN을 통해 저해상도의 이미지를 초해상화 한 결과, 드론탐지 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제시한 기술을 활용한다면, 드론과 관련된 도시지역작전시에 많은 이점이 있을 것으로 예상된다. 이미 설치되어있는 CCTV를 교체할 필요가 없어 많은 예산을 절약할 수 있고, 인력이 아닌 수많은 CCTV를 활용하여 실시간 탐지 및 추적에 용이할 것이다.

제한사항으로는 양호한 기상상태의 데이터만 사용하여 테스트했기 때문에 우천이나 야간 등 다양한 기상요소로 인한 변수는 확인하지 않았다. 또한, CCTV를 활용하여 작전하기 위해서는 실시간 영상에 접목시켜야하는데 이미지에 대한 테스트이기 때문에 영상에 적용하기에는 제한된다. 그리고 연구에 사용한 이미지가 실제 CCTV 이미지가 아니라 CCTV의 화질을 고려한 저해상도의 이미지이기 때문에 CCTV의 모든 특성을 다 고려하지는 못했다. 따라서 차후에는 여러 기상상황의 실제 CCTV 영상을 적용한 연구가 요구된다.

그리고 향후 연구에서는 다양한 초해상화 및 객체탐지 모델을 조합하여 실험함으로써, 드론탐지 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 최적의 모델 조합을 찾고자 한다.

도시지역에는 테러나 기습을 당했을 경우 사회기반이 흔들리거나 국가안보의 위협이 되는 국가중요시설 및 군사중요시설이 상당수 분포하고 있다. 이에 반해 군의 드론 및 무인기를 탐지할 수 있는 장비의 수량은 부족하며 탐지기술의 특성상 장애물이 없는 상공을 장거리로 관제하고 있다. 테러를 목적으로 폭발물을 탑재한 드론이 고첩에 의해 도심 내로 옮겨지고, 건물에 은폐한 채로 저고도로 비행하여 원점으로 이동한다면 기존의 군 감시체계로는 탐지가 제한될 것이다. 이때, 이미 인프라가 잘 구축되어있는 CCTV를 활용하여 드론을 탐지하고자 한다면 감시 가능한 핀포인트가 전 도시 구석구석으로 확장되어 감시율을 높이고, 나아가 국가안보을 강화할 수 있을 것이다.

References

[1] Y. W. Kwon, S. H. Baek, B. S. Kim, S. H. Oh, Y. J. Jeon, S. C. Jeong, "A study to Improve the Image Quality of Low-quality Public CCTV", *The Jouranl of Bigdata,* vol.6, no.2, pp.125-137, 2021.
DOI: https://dx.doi.org/10.36498/kbigdt.2021.6.2.125

[2] Ministry of Public Administration and Security, "6,106 Low-Resolution CCTVs to Be Completely Replaced, Sharply Enhancing National Safety", Jan. 2024

[3] Ministry of Public Administration and Security, CCTV Information by Region, ROCAL DATA [cited 2024 March 11], Available From:

https://www.localdata.go.kr/lif/lifeCtacDataView.do?opnEtcSvcId=12_04_08_E (accessed March. 25, 2024)

[4] H. G. Kim, C. S. Lim, S. M. Tak, "Improved Recall of Plant Disease Detection Model using Image Super Resolution", *Journal of Information Science Societ*, Vol.51, No.2, pp.125-130, Feb. 2024
DOI: https://dx.doi.org/10.5626/JOK.2024.51.2.125

[5] H. J. Cho, S. W. Lee, "Improvement of Target Detection Performance Using SRGAN in SAR Images", *2023 Summer Conference of the Korean Telecommunications Association*, Korean Telecommunications Association, Jeju, Republic of Korea, pp.740-741 , June. 2023

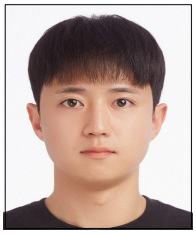
[6] J. Shermeyer, A. V. Etten, "The Effects of Super-Resolution on Object Detection Performance in Satellite Imagery", *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, IEEE, CA, USA, Jun. 2019
DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1812.04098

[7] V. Magoulianitis, D. Ataloglou, A. Dimou, D. Zarpalas, P. Daras, "Does Deep Super-Resolution Enhance UAV Detection?", *2019 16th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, IEEE, Taiwan, Taipeo, Sep. 2019
DOI: https://doi.org/10.1109/AVSS.2019.8909865

[8] C. Dong, C. C. Loy, K. He, X. Tang, "Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks", *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Volume: 38, Issue:2, pp.295-307, Feb. 2016
DOI: https://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2015.2439281

[9] G. jocher, A. Chaurasia, J. Qiu, Ultralytics YOLOv8, https://docs.ultralytics.com/ko/models/yolov8/#citations-and-acknowledgements, Nov. 2023

정 성 우(Seong-Woo Jeong) [준회원]



- 2016년 2월 : 육군사관학교 토목환경공학과 (토목환경공학 학사)
- 2023년 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학과 석사과정

〈관심분야〉
인공지능, 무기체계 획득관리

마 정 목(Jung-Mok Ma) [정회원]

- 2002년 2월 : 육군사관학교 운영분석학과 (운영분석 학사)
- 2008년 8월 : 미국 펜실베니아주립대(PSU) (산업공학 석사)
- 2015년 5월 : 미국 일리노이대(UIUC) (산업공학 박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학과 교수

〈관심분야〉
국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리