

딥러닝 기반 드론 부품 자동 인식을 위한 이중 단계 이미지 세그멘테이션 파이프라인 연구

박인영, 박현희*
명지대학교 정보통신공학과
piy125@naver.com, *hhpark@mju.ac.kr

A Study on a Two-Stage Image Segmentation Pipeline for Deep Learning-Based Drone Component Recognition

In Yeong Park, Hyun Hee Park*
Dept. Information and Communication Engineering, Myongji Univ.

요 약

드론 대여 서비스 및 산업용 드론 운영의 확대에 따라 기체 점검의 자동화와 객관성 확보에 대한 요구가 증가하고 있으나, 기존 점검 방식은 수작업 관독에 의존해 시간·인력 소모가 크고 결과의 일관성이 저하되는 한계를 가진다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 딥러닝 기반 이중 단계 이미지 세그멘테이션 파이프라인을 활용한 드론 부품 자동 인식 기법을 제안한다. 제안한 방법은 Mask R-CNN 을 이용한 주요 부품의 세그멘테이션과, ROI 기반 Tiny U-Net 을 적용한 미세 부품 정밀 세그멘테이션으로 구성된다. 실험 결과, IoU 0.50 기준에서 제안한 파이프라인은 착륙 다리와 같은 미세 부품에 대해 단일 Mask R-CNN 대비 평균 정밀도(AP)가 약 5%p 향상되었으며, 전반적으로 안정적인 Precision-Recall 성능을 보였다. 이는 미세 부품 인식 성능의 정량적 개선을 통해 드론 점검 자동화 시스템에의 적용 가능성을 시사한다.

I. 서 론

드론은 인프라 점검, 물류, 촬영 등 다양한 산업 분야에서 활용 범위를 확대하고 있으며, 최근에는 고가의 기체를 직접 구매하기보다 필요 시 대여하여 사용하는 서비스 모델이 일반화되고 있다[1]. 이에 따라 다수의 드론을 반복적으로 운영·관리하는 환경에서 비행 전·후 상태 점검의 중요성이 증가하고 있다.

그러나 현재 드론 점검은 촬영된 영상에 대한 수작업 관독에 의존하고 있어 시간 및 인력 소모가 크며, 검사자의 주관에 따라 결과의 일관성이 저하된다. 또한 점검 결과가 정량적으로 기록되지 않아 부품 손상이나 분실 발생 시 책임 소재를 명확히 규명하기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 영상 기반 자동 점검 기술에 대한 요구가 증가하고 있으며, 그 핵심 기술로 인공지능 기반 이미지 인식 기술이 주목받고 있다[2]. 본 연구는 드론 이미지 내 주요 부품을 자동으로 세그멘테이션하고, 특히 크기가 작고 구조가 가는 부품에 대해서도 안정적인 인식을 가능하게 하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 단일 모델의 한계를 분석하고, 이중 단계 딥러닝 파이프라인을 적용하여 성능 향상을 도모한다.

II. 본 론

2.1 데이터셋 구축 및 CVAT 기반 라벨링

본 연구에서는 공개 데이터셋을 사용하는 방식의 한계를 보완하기 위해, 드론 부품 인식에 적합한 전용 라벨링 데이터셋을 직접 구축한다. 초기 데이터는 공개 이미지 플랫폼(Kaggle)을 통해 수집하며[3], 다양한 촬영 각도와 배경 환경을 포함하도록 선별 과정을 거친다.

라벨링 작업은 오픈소스 주식 도구인 computer vision annotation tool(CVAT)을 활용하여 수행한다. 드론의 주요 부품(프로펠러, 본체, 다리, 카메라)을 클래스 단위로 정의하고, 각 부품에 대해 픽셀 단위 폴리곤 기반 세그멘테이션 주석을 직접 수행한다.

특히 착륙 다리와 같이 구조가 가늘고 형태 변형이 다양한 부품의 경우, 실제 기능적 역할을 기준으로 라벨링 기준을 정의하여 주식 과정 전반에서 일관성을 확보한다. 흐릿하게 촬영된 경우에는 겹침을 허용하여 라벨링을 진행하며, 접이식 구조를 가진 착륙 다리는 지면 지지 기능을 기준으로 라벨링하였다. 이러한 과정을 통해 구축된 데이터셋은 모델 학습 및 성능 평가에 활용되며, 실제 산업 환경을 반영한 드론 부품 인식 실험의 기반이 된다.

2.2 Mask R-CNN 기반 부품 세그멘테이션

먼저 mask region-based convolutional neural network(Mask R-CNN)[4]을 활용하여 드론 이미지 내 주요 부품을 탐지하고 픽셀 단위 세그멘테이션을 수행한다. Mask R-CNN 은 feature pyramid network(FPN)를 통해 다중 해상도의 특징 맵을 생성함으로써, 서로 다른 크기의 객체를 동시에 처리할 수 있는 장점을 가진다.

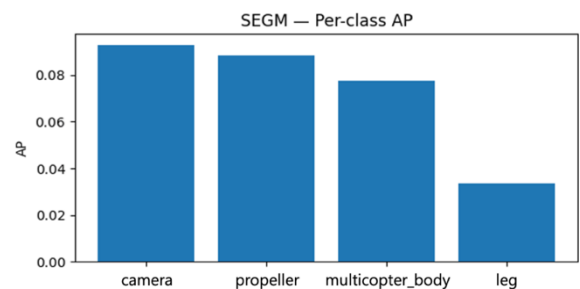


그림 1. 드론 부품 클래스별 평균 정밀도(AP)

그림 1 은 드론 부품 클래스별 평균 정밀도(AP)를 비교한 결과를 나타낸다. 여기서 average precision(AP)는 모델이 객체를 정확히 탐지하고 올바른 영역을 예측하는 능력을 하나의 값으로 종합하여 나타내는 성능 지표로, 객체 검출 및 분할 성능을 평가하는 데 사용된다. 그러나 실험 과정에서 Mask R-CNN 은 착륙 다리(leg)와 같이 가늘고 작은 구조를 가진 부품에 대해 마스크 경계가 뭉개지거나 누락되는 문제가 관찰되었다. 이는 다운샘플링 과정에서 작은 객체의 특징이 약화되고, 앵커 기반 탐지 구조로 인해 작은 부품이 상대적으로 불리해지는 구조적 한계에 기인한다.

2.3 ROI 기반 Tiny U-Net 적용

이러한 한계를 보완하기 위해, 본 연구에서는 이전 단계에서 검출된 작은 부품 영역만을 대상으로 하는 2 차 세그멘테이션 단계를 추가한다. Mask R-CNN 이 생성한 바운딩 박스를 기준으로 region of interest(ROI) 이미지를 추출한 후, 이를 입력으로 u-shaped convolutional neural network 기반 경량 구조 모델(Tiny U-Net)을 학습·적용한다.

Tiny U-Net 은 경량 구조를 유지하면서도 인코더-디코더 기반의 특성으로 세밀한 경계 복원이 가능하며, ROI 이미지의 고해상도 정규화를 통해 작은 부품의 형상 정보를 효과적으로 보존한다. 이를 통해 2 차 단계에서는 착륙 다리와 같은 미세 구조의 경계 품질을 개선할 수 있다.

2.4 실험 결과 및 분석

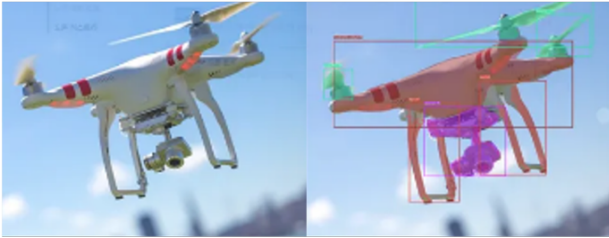


그림 2. 드론 이미지 원본과 부품 세그멘테이션 결과

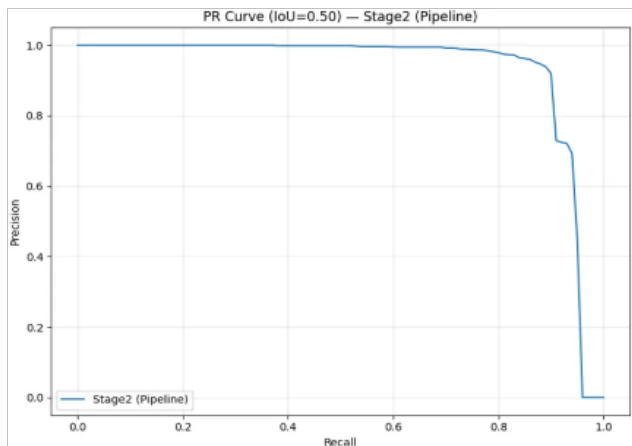


그림 3. 이중 단계 세그멘테이션 파이프라인(Stage2)의 precision-recall(PR) 곡선

제안한 이중 단계 세그멘테이션 기법의 성능 평가는 PR 곡선을 중심으로 분석한다. 그림 3 은 제안한 파이프라인을 통해 얻어진 부품 세그멘테이션 결과의 PR 곡선을 나타낸다. 여기서 Precision 은 모델이 탐지한 부품 중 실제 부품의 비율을, Recall 은 실제 부품 중 모델이 올바르게 탐지한 비율을 의미한다.

실험은 약 160 장의 학습 이미지와 40 장의 평가 이미지를 대상으로 수행되었으며, IoU 임계값은 0.50 으로 설정하였다. 실험 결과, 높은 Precision 이 유지되는 구간에서 Recall 또한 안정적으로 확보되는 경향을 확인할 수 있었다.

특히 착륙 다리와 같이 크기가 작고 구조가 가는 부품의 경우, 단일 Mask R-CNN 적용 시 대비 평균 정밀도(AP)가 약 5%p 향상되었으며, 전반적인 PR 곡선에서도 보다 안정적인 성능 균형을 보였다. 이는 모델이 부품을 과도하게 오탐지하지 않으면서도 실제 부품을 비교적 안정적으로 인식하고 있음을 정량적으로 보여준다.

이러한 결과는 작은 부품의 손상 여부가 중요한 드론 점검 환경에서, ROI 기반 2 차 세그멘테이션을 포함한 계층적 접근 방식이 실용적인 성능 개선 효과를 제공할 수 있음을 시사한다.

III. 결론

본 논문에서는 드론 점검 자동화를 위한 딥러닝 기반 이미지 세그멘테이션 기법으로서, Mask R-CNN 과 Tiny U-Net 을 결합한 이중 단계 파이프라인을 제안하였다. 제안한 방법은 단일 세그멘테이션 모델이 가지는 작은 부품 인식의 구조적 한계를 고려하여, ROI 기반 정밀 세그멘테이션 구조를 적용함으로써 미세 부품에 대한 인식 안정성을 확보하고자 하였다.

실험 결과, 제안한 파이프라인은 드론의 주요 부품을 전반적으로 안정적으로 세그멘테이션할 수 있음을 확인하였으며, 구조가 가늘고 크기가 작은 부품에 대해서도 성능 저하 없이 일관된 결과를 보였다. 나아가, 이중 단계 세그멘테이션 파이프라인은 단일 모델 기반 접근이 가지는 미세 부품 인식의 한계를 구조적으로 보완함으로써, 소규모 데이터 환경에서도 경계 품질과 인식 안정성을 동시에 확보할 수 있음을 실험적으로 입증하였다.

향후 연구에서는 다양한 드론 기종과 촬영 환경을 포함한 데이터셋 확장과 함께, 경계 품질을 보다 정교하게 반영할 수 있는 손실 함수 설계 및 실시간 처리를 고려한 모델 경량화를 통해 실제 산업 환경에 더욱 적합한 시스템으로 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 2025 년도 교육부 및 경기도의 재원으로 경기 RISE 센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. (2025-RISE-09-A15)

참 고 문 헌

- [1] 박춘매, 김복희, 이춘수, “중국 드론 산업의 국제시장 확대에 관한 사례연구: DJI 기업 사례를 중심으로,” 무역금융보험연구, 제 25 권 제 3 호, pp. 21- 36, 2024.
- [2] 양호준, 김성도, 최윤수, “무인항공기와 인공지능 기반 자동 외관 검사 기술의 현황과 고위험 건설기계 적용 가능성,” 한국자원공학회지, 제 62 권 제 5 호, pp. 567- 583, 2025.
- [3] M. Özel, Drone Dataset (UAV), Kaggle, 2018. Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/dasmehdixtr/drone-dataset-uav>
- [4] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick, “Mask R-CNN,” Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Venice, Italy, pp. 2980- 2988, 2017.