

YOLOv5 Segmentation 모델을 이용한 실시간 사과 꼭지 인식 및 위치 추정 시스템

이영욱, 백나래, 이혜민*

한국전자기술연구원

thisis206@keti.re.kr, nrbaek@keti.re.kr, *lee10849@keti.re.kr

Real-time Apple stem Detection and Localization System Using YOLOv5 Segmentation Model

Yeong Wook Lee, Na Rae Baek, Hea Min Lee*

Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 사과를 수확하고 처리하는 과정에서 사과 꼭지를 제거하는 공정을 개발하기 위해 사과 꼭지의 절단 부분을 추정하는 시스템을 제안한다. 사과 꼭지는 사과가 출하하는 과정에서 다른 사과에 흠집을 내는 큰 요인으로 작용하며 흠집은 과일의 신선도와 품질에 큰 영향을 미치기 때문에 꼭지를 제거하는 과정은 필수 불가결하다. 본 논문에서는 YOLOv5 Segmentation 모델로 사과와 사과 꼭지 데이터를 학습하고 Realsense D405 카메라를 통해 실시간으로 2D 좌표상에서의 텍스 좌표와 사과 꼭지의 방향 정보를 추정한다. 또한 높은 정확도를 요구하는 꼭지 제거 공정에서는 작은 오차임에도 꼭지 좌표 정확도에 큰 영향을 미치므로 후처리 필터로서 지수평균이동 정규화 기법을 사용하여 텍스 좌표와 방향 정보 값을 보정하고 이를 비교분석 한다.

I. 서론

본 논문에서는 사과 꼭지의 절단 위치를 실시간으로 추정하는 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 사과 꼭지는 수확 과정에서 다른 과일을 손상할 수 있는 주요 원인이며, 이러한 손상은 과일의 품질 및 시장 가치에 중대한 영향을 미친다. 따라서, 사과 꼭지를 효율적으로 제거하는 기술은 상업적인 과일 가공 및 포장 산업에서 매우 중요하다. 현재까지 사과 꼭지를 제거하는 과정은 주로 수작업에 의존하고 있으며, 이는 비용과 시간이 많이 들고 작업자의 피로도를 증가시킨다. 본 논문에서 제안하는 자동화 시스템은 이러한 문제를 해결한다.

본 연구에서 사용된 YOLOv5[1] 모델은 고속 및 고정밀의 객체 분할 기능을 제공하며, 특히 실시간 이미지 처리에 적합하다. 본 연구는 YOLOv5 모델 중 Segmentation 모델을 사용하여 사과와 사과 꼭지를 정확히 분할 및 인식하고, Realsense D405 카메라를 통해 얻은 이미지 데이터로부터 사과 꼭지의 위치와 방향을 추정한다. 추정된 정보는 지수이동평균(Exponential Moving Average)[2] 정규화 기법을 통해 위치 및 방향 정보가 보정되어, 꼭지 제거 공정에서의 오차를 최소화한다. 이와 관련된 연구로는 과수 꼭지의 제거는 주로 로봇 공학과 컴퓨터 비전 기술을 결합하여 다루어지는 주제이다. 예를 들어 Anchor-Free 기반의 3D 객체 검출 모델을

이용한 사과 꼭지의 검출 모델을 사용하여 복셀 환경에서 사과 꼭지의 다양한 정보를 취득하는 연구[3-4]가 진행된 바 있다. 하지만 이러한 시스템은 연산량이 매우 많아 처리 속도가 느려 실시간 시스템으로 사용하기 부적합하다. 또한 사과 꼭지와 같은 매우 작은 객체를 복셀 환경에서 다루기 매우 힘들기 때문에 성능 저하를 초래한다[5]. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고자 YOLOv5를 이용한 실시간 처리 능력과 Realsense 카메라의 텍스 센싱 기술을 활용하여 보다 빠르고 정확한 꼭지 위치 추정 방법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 YOLOv5 Segmentation 모델을 사용하여 사과와 사과 꼭지 데이터를 학습한다. YOLOv5 Segmentation 모델은 이미지 내 객체를 실시간으로 탐지하고 분류하는 딥러닝 모델 중 하나로 병렬 처리와 효율적인 네트워크 구조 덕분에 실시간 이미지 처리에 매우 적합하며 빠른 속도로 고정밀 탐지를 수행한다. 또한 모델의 크기와 속도에 따라 s, m, l, x로 제공되어 사용자가 필요에 따라 적절한 모델을 선택할 수 있다. 본 논문에서는 YOLOv5s 버전을 사용하였다. Segmentation 된 사과 꼭지의 마스크 정보를 추출하여 알고리즘을 설계한다. 마스크 좌표에서 최저점과 최고점의 좌표를 이용하여 꼭지의 길이를 구하고, 꼭지 전체 길이에서 사과 꼭지 절단에 적합한 포인트를 설정하여 해당 지점에 포인트를 표시하는 방법을 구현하였다. 구현된 사과 꼭지 인식 및 위치 추정 시스템은 그림 1에 나타나 있다. 실시간 시스템의 특성상 프레임마다 발생하는 노이즈로 인해 학습 결과가 달라지고 이에 따라 마스크 범위가 달라진다. 이는 사과 꼭지의 절단 부분을 추정할 시 매번 바뀌는 좌표로 인해 정확한 절단 부분을 추정하기가 어렵다. 이를 보완하기 위해 지수이동평균 정규화 기법을 사용한다. 시간 t에서의 지수이동평균값 S_t 는 다음과 같다.

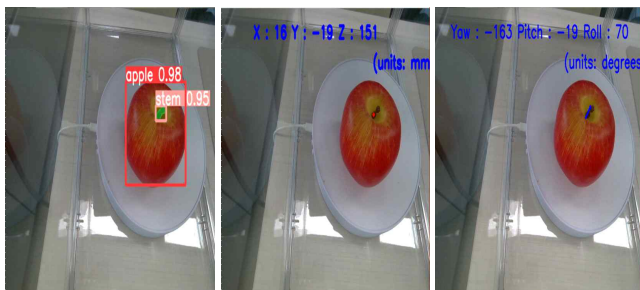


그림 1 사과 꼭지 인식 및 위치 추정 시스템

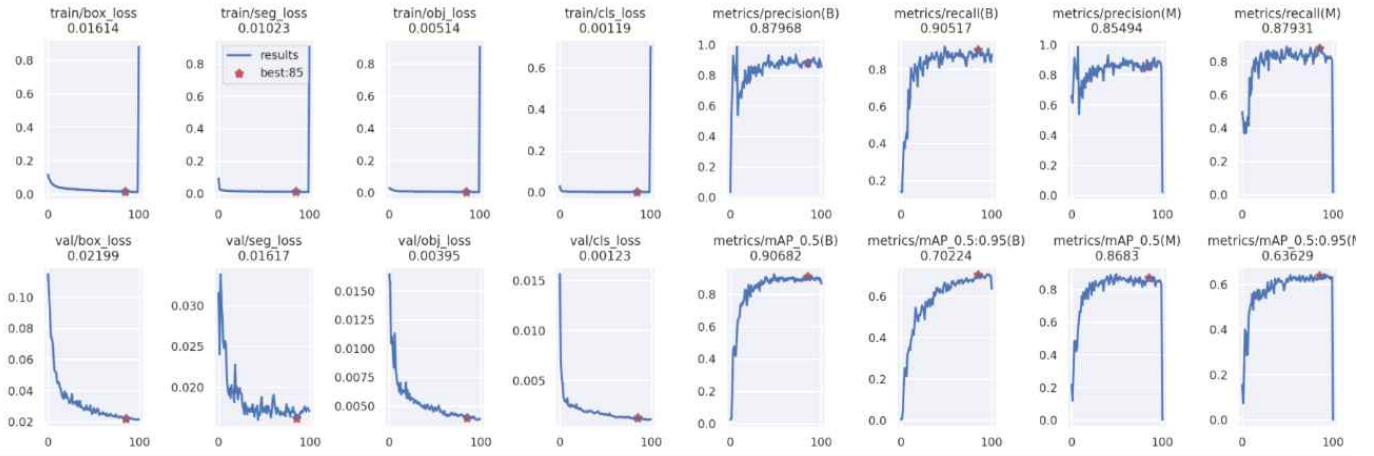


그림 2 YOLOv5s-segmentation 모델 학습 결과

$$S_t = \begin{cases} Y_1, & t = 1 \\ \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}, & t > 1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 α 는 평활 계수(smoothing factor)로서, $\alpha = \frac{1}{N+1}$ 로 계산된다. N 은 평균을 계산하기 위한 프레임의 수이다. Y_t 는 시간 t 에서의 값을 의미하며 S_{t-1} 은 이전 프레임의 지수이동평균값을 의미한다.

III. 실험

본 논문에서는 사과와 사과 꼭지 데이터셋을 제작하여 폴리곤 라벨링을 수행하여 YOLOv5 Segmentation 모델을 학습하고 그 성능을 검증한다. 또한 Realsense D405 텡스 카메라를 이용하여 카메라 내부 텡스 정보를 불러와 2D 좌표상에서 객체의 X, Y, Z 좌표와 방향을 추정하고 후처리 과정에서 지수이동평균 정규화 기법을 사용하여 검출 정보를 정규화한다. 학습에 사용한 실험 장비는 표 1에 나타나 있다. 데이터셋트는 총 1,000장의 사과 이미지를 사용하였으며 클래스는 사과 몸체를 의미하는 'apple' 클래스와 꼭지를 의미하는 'stem' 클래스로 나누어 학습하였다. 학습 결과는 그림 2에 나타나 있다. 그림 3에 볼 수 있듯 추세에서 벗어나고 있는 이상치(outlier)가 지수이동평균 정규화 이후 모두 제거된 것을 볼 수 있다. 시스템을 작동하는 동안 FPS는 평균 12FPS를 달성하여 실시간 영상 처리에도 준수한 성능을 보였다.

IV. 결론

본 논문에서는 YOLOv5 Segmentation 모델을 높은 성능으로 학습한 후 Realsense 센서값을 불러와 2D 환경에서도 사과 꼭지의 텡스 값을 실시간으로 추정하고 후처리 기법으로 지수이동평균 정규화를 사용하여 이상치를 성공적으로 제거하였다. 이러한 기술의 발전은 과수 수확 및 처리 산업의 자동화를 촉진할 뿐만 아니라, 과일의 손상을 최소화하고 품질을 유지하는 데 기여할 것이다. 본 논문은 사과 꼭지 인식과 위치 추정의 정확도를 높이기 위한 연구의 하나로, 기존의 방법들과 비교하여 그 우수성을 입증할 것이다.

표 1 실험 장비

	Company	Product
OS	Canonical	Ubuntu 18.04
CPU	Intel	I9-11900K 8core
GPU	NVIDIA	GeForce RTX 3080

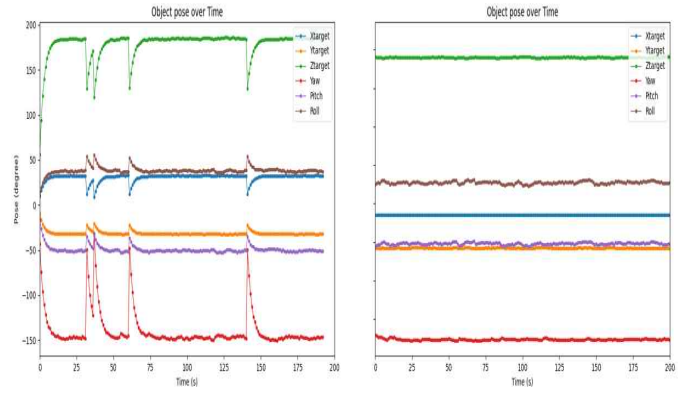


그림 3 지수이동평균 정규화 결과(좌: 적용 전, 우: 적용 후)

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 노지분야 스마트농업기술 단기 고도화사업의 지원을 받아 연구되었음 (322035-03)

참고 문헌

- [1] WANG, Zhipeng, et al. Apple stem/calyx real-time recognition using YOLO-v5 algorithm for fruit automatic loading system. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 185: 111808.
- [2] CAI, Zhaowei, et al. Exponential moving average normalization for self-supervised and semi-supervised learning. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021. p. 194-203.
- [3] 이영욱, 노동희, 이혜민. (2024). Anchor-Free 기반 3D 객체 검출을 이용한 과수 꼭지 검출 시스템 구현. *한국통신학회논문지*, 49(2), 301-307, 10.7840/kics.2024.49.2.301
- [4] 이영욱, 이혜민. (2023-09-20). 3D 객체 탐지 모델의 경량화 및 결과 분석. *한국통신학회 인공지능 학술대회 논문집*, 제주.
- [5] Xu, Xiuwei, et al. "DSPDet3D: Dynamic Spatial Pruning for 3D Small Object Detection." *arXiv preprint arXiv:2305.03716* (2023).