

딥러닝 모델 기반 수목 특성 분석

이규원¹, 김민지², 이성재³, 권용현⁴, 류병석⁵, 김영균⁶
¹강원대학교 문화예술·공과대학 기계의용·메카트로닉스공학과
²강원대학교 농업생명과학대학 식물자원응용과학전공
³강원대학교 IT대학 전기전자공학과
⁴한양대학교 공과대학 데이터사이언스전공
⁵연세대학교 공과대학 화공생명공학과
⁶융합소프트웨어랩

lko991111@gmail.com, applegate44@gmail.com, sungjae16lee@gmail.com
 mrkyh380@hanyang.ac.kr, bsryu@yonsei.ac.kr, ygkim-2004@hanmail.net

Deep Learning Model-Based Tree Characteristics Analysis

Quwon Lee¹, Minji Kim², Seongjae Lee³, Yonghyun Kwon⁴, Byeongseok Ryu⁵,
 YoungGyun Kim⁶

¹Dept. of Mechanical & Biomedical Mechatronics Engineering, Kangwon National University

²Dept. of Applied Plant Sciences, Kangwon National University

³Dept. of Electrical & Electronics Engineering, Kangwon National University

⁴Dept. of Data Science, Hanyang University

⁵Dept. of Chemical & Biomolecular Engineering, Yonsei University

⁶Convergence Software Lab.

요 약

수목의 품종을 연구하고 특성을 규명하기 위해 특성조사요령에 따라 특성 분석이 시행된다. 특성조사요령은 신품종 개발 및 품종 보호 출원을 위한 재배심사에 필요한 특성별 조사 방법을 규정하고 있다. 하지만 수목의 특성 분석 과정에서 연구자의 주관이 개입될 가능성이 있으며, 특성 분석의 신뢰성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 딥러닝 모델을 활용하여 영상 속에서 수목을 검출하고, 특성조사요령에 규정된 특성들의 '표현 형태'를 출력하는 시스템을 구현함으로써 수목 특성 분석의 신뢰도를 높이고자 한다.

1. 서론

식물 신품종 개발은 농업 생산성을 높이기 위해 서로 다른 품종을 교배하여 농업에 유용한 특성을 강화하는 과정이다. 이 과정에서는 식물의 품종과 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하며, 이를 위해 특성조사요령이 활용된다[1-3]. 특성조사요령은 식물신품종 보호법과 종자 관리 요강에 따라 품종의 특성과 특성별 조사 기준 및 방법을 설명한다[4]. 특성별 조사 방법은 주로 식물 신품종 개발과 품종 보호 출원을 위한 재배심사에 필수적이다[5].

육안 관찰이 필요한 특성별 조사 기준으로는 VG(Visual assessment by a single observation of a group of plants or parts of plants; 조사대상 식물체들 또는 식물체들의 일부를 집단으로 하여 육안으로 1회 관찰)와 VS(Visual assessment observation of individual plants or parts of plants; 조사대상 식물체들 또는 식물체들의 일부를 개체별로 육안으로 관찰)가 있다[6]. 소나무의 경우, '나무의 수세', '나무의 수형', '줄기의 생장 습성', '수피의 색깔', '수피의

갈라짐 정도' 등의 특성이 VG와 VS에 해당하며[7], 주목의 경우 '나무의 습성', '나무의 수형', '원줄기의 생장 습성', '원줄기의 분지 수', '수피의 색깔', '소지의 성장 방향' 등의 특성들이 VG와 VS에 해당한다[8]. 이러한 특성들은 표현 형태로 나타나며, 수목의 성장과 건강 상태를 평가하는 중요한 기준이 된다.

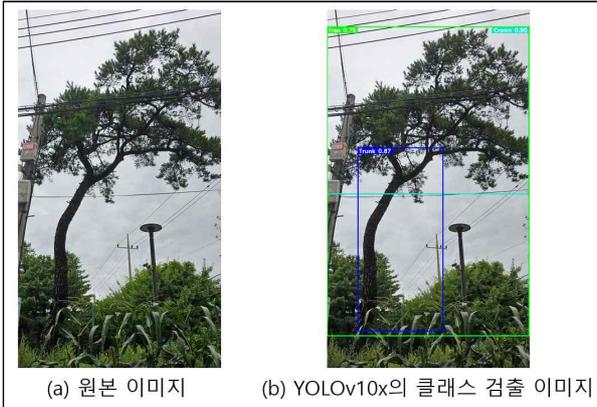
그러나 특성 조사 과정에서 연구자의 주관이 개입될 가능성이 있어 신뢰도 저하를 초래할 수 있으며[9], 이는 특성 조사의 일관성과 정확성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 딥러닝 모델을 활용하여 침엽수인 소나무와 주목을 대상으로 영상 속에서 수목을 검출하고, 품종별 특성조사요령의 VG와 VS 특성들의 표현 형태를 출력하는 시스템을 구현하였다. 이 딥러닝 모델 기반 특성 분석 시스템은 분석의 신뢰도를 높여 식물 신품종 개발과 품종 보호 출원에 필요한 수목 특성 분석 연구에 기여할 것으로 기대된다.

2. 수목 특성 분석 모델

2.1. 데이터 수집

본 연구에서는 수목의 특성을 분석하기 위해 직접 촬영한 사진과 Forestry Images[10]에서 수집한 소나무와 주목의 수피, 꽃, 잎과 소지, 전체 이미지를 사용하였다.

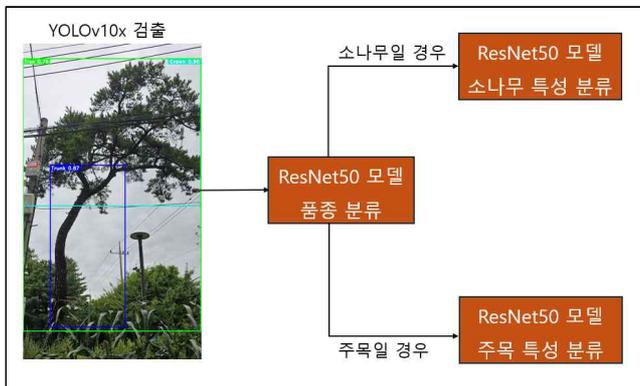
2.2. YOLOv10x 물체 검출



(그림 1) YOLOv10x 모델의 물체 검출

YOLO(You Only Look Once)는 실시간 객체 검출(Object Detection) 모델이다[11]. 본 연구에서는 이전 버전의 문제점을 개선하여 높은 정확도와 효율성을 제공하는 Ultralytics의 YOLOv10x 모델[12]을 재학습시켜 이미지에서 수목의 꽃, 수관, 줄기, 수피, 전체, 잎을 검출하였다(그림 1). 재학습을 위해 이미지 전처리 작업은 Roboflow에서 수행되었으며, 1,801장의 수목 사진에 대해 Flower(꽃), Crown(수관), Trunk(줄기), Bark(수피), Tree(전체), Leaf(잎)에 해당하는 객체들을 바운딩 박스로 라벨링 하였다. 전체 데이터 셋은 검증 셋 368장, 테스트 셋 284장, 그리고 3배수의 데이터 증강이 적용된 학습 셋 3,413장으로 구성되었다. YOLOv10x 모델은 전체 데이터 셋을 100회 학습하며, 배치 크기는 8로 설정하여 재학습을 진행하였다.

2.3. ResNet50 특성 분류



(그림 2) ResNet50 모델의 특성 분류 흐름도

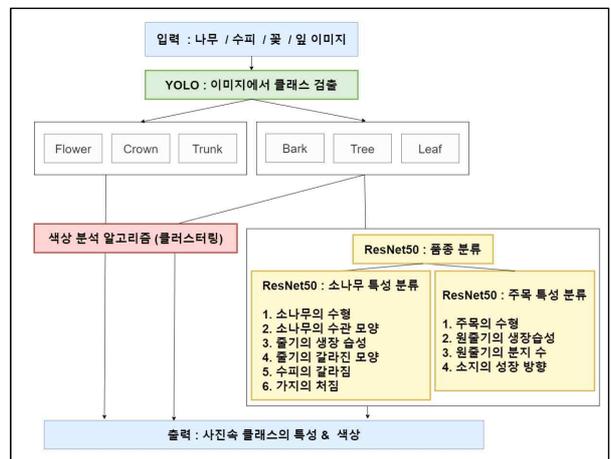
ResNet은 마이크로소프트에서 개발한 CNN 모델로, 기존 이미지 분류 딥러닝 모델의 문제점을 개선하여 높은 정확도로 이미지를 분류할 수 있다[13]. 본 연구에서는 ResNet50 모델을 전이 학습시켜 소나무와 주목에 한정하여 실험을 진행하였다. 전이 학습 기반 ResNet50 모델을 활용한 특성 분석 과정은 ‘품종 분류’, ‘소나무 특성 분류’, ‘주목 특성 분류’의 역할을 하는 총 3개의 모델로 구성되어 있다(그림 2). 먼저, YOLOv10x 모델이 검출한 Tree 클래스 이미지를 품종 분류 모델을 통해 ‘소나무’와 ‘주목’으로 분류한 후, 해당 품종에 맞는 특성 분류가 이루어진다(그림 2). 소나무 특성 분류 모델은 6가지, 주목 특성 분류 모델은 4가지 특성의 표현 형태를 결정한다(그림 3). 전체 데이터 셋은 80%의 학습 셋, 10%의 검증 셋, 10%의 테스트 셋으로 나누었으며, 학습 셋의 이미지 수가 적어 2배수의 데이터 증강 기법을 사용하였다.

2.4. 색상 분석 알고리즘 (K-means 클러스터링)

색상 분석 알고리즘은 YOLOv10x 모델이 검출한 클래스 이미지에서 K-means 클러스터링 알고리즘을 사용하여 특성 조사 요령에 따른 색깔 특성의 표현 형태를 결정하는 역할을 한다. K-means 클러스터링은 데이터를 K개의 군집으로 묶어 대푯값을 산출하는 비지도 학습 알고리즘으로, 클래스 검출 이미지에서 대표 색상인 RGB 값을 K개 추출할 수 있다. 본 연구에서는 색상 분석에 용이한 클래스들을 가진 소나무를 대상으로 실험을 진행하였다.

YOLOv10x 모델을 통해 색상 분석에 필요한 클래스들을 검출한 후(그림 1), 해당 클래스 이미지의 RGB 채널별 픽셀 값들을 3차원 색 공간에 배치한다. 이후 K-means 클러스터링 알고리즘을 사용하여 K가 1일 때와 2일 때의 군집 대표 RGB 채널별 픽셀값을 추출한다. 이 대푯값들은 색깔 특성의 표현 형태가 가진 RGB 값과의 유클리드 거리를 계산하여 비교하고, 거리가 가장 짧은 색깔 특성의 표현 형태를 최종 결과로 출력한다.

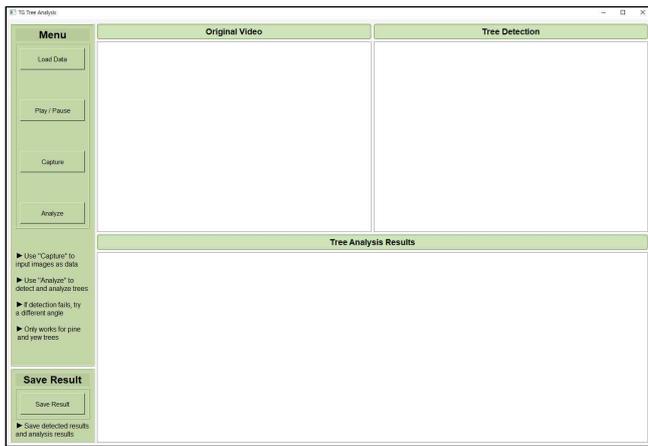
3. 수목 특성 분석 시스템의 구현



(그림 3) 전체 흐름도

수목 이미지를 입력받아 특성을 분석하며, YOLOv10x 모델을 통해 수목 이미지에서 6가지 클래스를 검출한다(그림 3). Flower, Crown, Trunk 클래스의 경우 색상 분석 알고리즘을 사용하여 색깔 특성의 표현 형태를 결정하고, Bark, Tree, Leaf 클래스는 전이 학습 기반 ResNet50 모델과 색상 분석 알고리즘을 활용하여 품종과 특성의 표현 형태를 결정한다.

3.1. GUI 구현

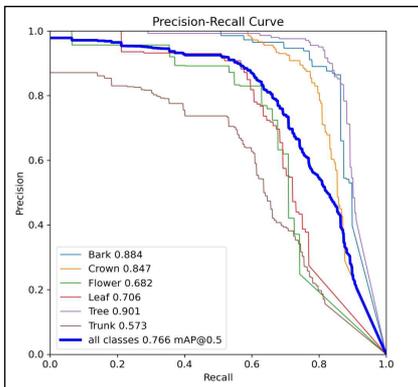


(그림 4) GUI 실행 화면

수목 특성 분석 결과를 시각화하기 위해 Python 3.10.0 환경에서 PyQt5 라이브러리를 사용하여 GUI(Graphical User Interface)를 구현하였다(그림 4). 'Load Data' 버튼을 통해 좌측 상단에 분석할 영상을 불러올 수 있다. 동영상은 'Play / Pause' 및 'Capture' 버튼으로 정지시킨 상태로 시스템에 입력할 수 있으며, 정지 영상은 이미지 파일로 입력할 수 있다. 'Analyze' 버튼은 우측 상단에 YOLOv10x의 검출 결과를 표시하고, 하단에는 특성 분류 결과와 연산 시간을 출력하는 기능을 제공한다. 또한, 'Save Result' 버튼에 YOLOv10x 모델의 검출 이미지와 분석 결과를 이미지 파일로 저장할 수 있는 기능을 할당하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1. YOLOv10x의 mAP



(그림 5) YOLOv10x 모델의 Precision-Recall Curve

mAP(mean Average Precision)는 물체 검출 모델의 성능을 평가하는 주요 지표 중 하나이다. 본 연구에서는 YOLOv10x 모델의 재학습 결과로 모든 클래스에 대한 전체 mAP가 0.766으로 나타났으며, 클래스별 mAP는 0.573에서 0.901 사이로 분포하였다(그림 5).

4.2. ResNet50의 특성 분류 분석 결과

〈표 1〉 ResNet50 : 품종에 따른 특성 분류 결과

특성	클래스	정밀도	재현율	f1-점수	정확도
품종	소나무	0.98	0.98	0.98	0.98
	주목	0.98	0.98	0.98	

〈표 2〉 ResNet50 : 소나무 특성과 주목 특성의 분류 결과

품종	특성	표현형태	정밀도	재현율	f1-점수	정확도
소나무	수피 : 갈라짐	길다	0.82	1.00	0.90	0.92
		중간	1.00	0.71	0.83	
		얇다	1.00	1.00	1.00	
	가지 : 처짐	아래로 처짐	0.88	0.78	0.83	0.89
		없다	0.90	0.95	0.92	
	나무 : 수형	관목	0.77	1.00	0.87	0.82
		아교목	0.75	0.75	0.75	
		교목	0.92	0.75	0.83	
	나무 : 수관	좁은 원추형	0.75	0.82	0.78	0.83
		넓은 원추형	0.69	0.95	0.80	
		구형	1.00	0.58	0.73	
		부정형	1.00	0.95	0.97	
줄기 : 생장습성	곧게 자란다	1.00	0.81	0.90	0.83	
	구부러진다	0.65	0.92	0.76		
	옆으로 간다	0.92	0.79	0.85		
줄기 : 갈라진 모양	갈라지지 않음	0.95	0.95	0.95	0.94	
	갈라짐	0.92	0.92	0.92		
주목	나무 : 수형	광타원형	1.00	0.94	0.97	0.96
		장타원형	1.00	1.00	1.00	
		원추형	0.94	1.00	0.97	
	나무 : 원줄기의 생장습성	직립형	1.00	0.90	0.95	0.87
		분지형	0.77	0.77	0.77	
		포복형	0.80	0.92	0.86	
나무 : 원줄기의 분지 수	단간	1.00	1.00	1.00	1.00	
	다간	1.00	1.00	1.00		
소지 : 생장 방향	아래로 처짐	0.91	1.00	0.95	0.88	
	수평	0.89	0.73	0.80		
	위로 향함	0.86	0.92	0.89		

품종 분류 모델은 0.98의 높은 정확도를 나타낸다(표 1). 소나무 특성 분류 모델은 6가지 특성에 대해 평균 0.87의 정확도를 보였으며, 특성별 정확도는 0.82에서 0.98 사이로 분포한다(표 2). 주목 특성 분류 모델은 4가지의 특성에 대해 평균 0.93의 정확도를 보였으며, 특성별 정확도는 0.88에서 0.98 사이로 분포한다(표 2).

4.3. 색상 분석 결과

〈표 3〉 K-means 클러스터링 : 분석 결과

품종	특성	표현형태	정밀도	재현율	f1-점수	정확도
소나무	수피 : 색깔	등갈색	0.83	0.36	0.50	0.74
		회갈색	0.78	0.97	0.86	
		흑갈색	0.50	0.57	0.53	
	잎 : 색깔	녹황색	1.00	1.00	1.00	0.85
		녹색	0.96	0.77	0.85	
		청록색	0.72	0.95	0.82	
	암꽃 : 색깔	연자주색	0.59	1.00	0.74	0.77
		자주색	0.88	0.74	0.79	
	수꽃 : 색깔	적자색	0.91	0.67	0.77	0.86
		담황색	1.00	0.81	0.90	
		황색	0.67	1.00	0.80	

K-means 클러스터링은 4가지 특성에 대해 평균 0.81의 정확도를 보였으며, 특성별 정확도는 0.74에서 0.86 사이로 분포하였다(표 3). 색상 분석 알고리즘은 3차원 색 공간에서 클래스 이미지의 픽셀값이 넓게 퍼져 있을수록 정확도가 떨어지는 경향을 보였다.

4.4. 분석 결과 화면



(그림 6) 분석 결과 화면

특성 분석을 원하는 수목의 영상을 입력하면, 재학습된 YOLOv10x 모델이 해당 환경에 맞게 특성 분석을 위한 클래스들을 검출한다. 검출된 클래스들은 전이 학습 기반 ResNet50 모델을 통해 차례대로 품종과 특성이 분류되거나, 색상 분석 알고리즘을 통해 색상이 결정된다. NVIDIA RTX 3050 4GB GPU 환경에서 하나의 이미지를 평균 0.9초에서 3초 사이의 빠른 시간 내에 분석할 수 있다(그림 6). 더 나아가 mAP가 낮은 클래스 이미지를 YOLOv10x 모델에 추가로 재학습시키고, 다양한 환경의 수목 이미지를 ResNet50 모델에 추가 전이 학습시킬 수 있으며, 이를 통해 실제 수목 특성 분석 연구에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 YOLOv10x 모델을 통해 영상 속 수목을 검출하고, 전이 학습 기반 ResNet50 모델과 색상 분석 알고리즘을 활용하여 수목의 특성을 분석하는 시스템을 구현하고 성능을 평가하였다. 특성 분석을 위한 클래스들을 신속하게 검출하고, 품종과 특성 분류를 0.82에서 1.00의 높은 정확도로 분류한다.

본 연구에서 구현한 시스템은 수목의 특성을 일관성 있게 분류하며, 식물 신종 개발 및 품종 보호 출원에 필요한 수목 특성 분석 연구에 기여할 것으로 기대된다. 향후 성능 향상을 위해 다양한 환경의 수목 이미지를 추가하고, 수목 특성 분류에 맞는 모델 학습 전략을 추가로 연구할 예정이다. 또한, 소나무와 주목 외에도 더 다양한 수목을 분석하기 위해 YOLOv10x 모델이 검출할 수 있는 클래스를 추가하고, 전이 학습 기반 ResNet50 모델이 분류할 수 있는 특성의 종류를 늘릴 예정이다.

참고문헌

[1] 안미연(Mi Yun An), 송현진(Hyun Jin Song), 김기운(Ki Yoon Kim), 이로영(Ro Young Lee), 양병훈(Byeong Hoon Yang), 한치복(Chi Beok Han). "산초나무(Zanthoxylum schinifolium) 신품종의 꽃과 열매에 기반한 형태적 특성 분석." 한국자원식물학회지, 35권, 4호, 2022, 464-470.

[2] 안미연, 이로영, 박제민, 양병훈, 김기운. "다래(Actinidia arguta) 신품종 심사를 위한 재배 및 특성조사방법 -매뉴얼 작성과정을 기준으로-" 한국환경농학회지, 42권, 4호, 2023, 450-456.

[3] 양대화, 선현진, 정옥철, 진일두, 강홍규, 이효연. "키작고 녹기연장의 한국잔디 '한라그린11' 품종의 개발." 한국육종학회지, 55권, 2호, 2023, 137-146.

[4] n.d. 신품종출원 > 신품종보호제도 소개 > 식물별 특성조사요령. 산림청 국립산림품종관리센터. https://nfsv.forest.go.kr/kfswb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?cmsId=FC_003205&mn=UKFV_01_01_10

[5] 양대화, 선현진, 정옥철, 진일두, 강홍규, 이효연. "금잔디와 들잔디의 교잡종 한국잔디의 '한라그린12' 품종 개발." 한국육종학회지, 55권, 2호, 2023, 147-155.

[6] 추갑철, 황용, 한무석, 김용율. "[산림청 국립산림품종관리센터](신품종 심사를 위한) 식물별 특성조사요령: 구상나무." 국립중앙도서관 연계자료, 제2호, 2014.

[7] 현정오, 권오용, 이정호, 우효진. "산림청 국립산림품종관리센터(신품종 심사를 위한) 식물별 특성조사요령: 소나무." 2010.

[8] 김무열, 권오용, 이정호, 이병실, 유성열, 우효진. "산림청 국립산림품종관리센터(신품종 심사를 위한) 식물별 특성조사요령: 주목." 2011.

[9] Bej, Gopinath, Abhra Pal, Tamal Dey, Sabyasachi Majumdar, Amitava Akuli, Alokesh Ghosh, and Nabarun Bhattacharyya. "Extraction of Appearance-Based DUS Characteristics of Okra Stem, Flower, and Seed Using Image Processing." Proceedings of International Conference on Computational Intelligence, Data Science and Cloud Computing, 2022, 209-223.

[10] Forestry Images. Accessed July 2024. <https://www.forestryimages.org>

[11] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi. "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 779-788.

[12] Ao Wang, Hui Chen, Lihao Liu, Kai Chen, Zijia Lin, Jungong Han, Guiguang Ding. "YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection" arXiv preprint arXiv:2405.14458, 2024

[13] Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. "Deep Residual Learning for Image Recognition" Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 770-778.