

이동형 카메라 기반 잎 ID 추적과 실제 크기 복원을 이용한 식물 생장·병해 시계열 분석

양지우, 곽희원, 김요한
계명대학교 컴퓨터공학과
{jsc78tt33, heeone2001}@gmail.com, yhkim@kmu.ac.kr

Time-Series Analysis of Plant Growth and Disease Using Leaf ID Tracking and Real-World Size Reconstruction with a Mobile Camera

Jiwoo Yang, Heewon Kwak, Yohan Kim
Keimyung University

요약

본 논문에서는 이동형 카메라 환경에서 발생하는 투영 왜곡과 객체 추적 단절 문제를 해결하기 위해, 잎 객체 추적과 실제 크기 복원을 결합한 식물 생장·병해 분석 시스템을 제안한다. 제안 기법은 잎을 Leaf ID 기반으로 추적하고, 투영 관계 모델링과 면적 보정을 통해 이동형 환경에서도 비교 가능한 실제 면적 지표를 산출한다. 이를 통해 동일 잎에 대한 시계열 생장 변화와 병해 확산을 안정적으로 분석할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

I. 서론

스마트팜 환경에서는 작물의 생장 상태와 병해 발생을 조기에 진단하기 위해 영상 기반 자동 모니터링 기술이 활용되고 있으며, 잎의 면적 변화와 병반 확산 양상은 작물 건강 상태를 판단하는 핵심 지표이다[1]. 그러나 기존의 고정 카메라 기반 2D 영상 분석은 환경 각도와 거리 변화로 인한 투영 왜곡과 크기 오차를 해결하기 어렵고, 잎이 밀집된 환경에서는 동일 잎을 프레임 간 일관되게 추적하는 데 한계가 있어 병반의 실제 면적 변화나 확산 속도를 정량적으로 분석하는 데 제약이 있다.

본 연구에서는 이동형 카메라 기반 다각도 영상을 활용하여 잎 객체를 Leaf ID로 추적하고, 투영 왜곡 보정을 통한 실제 크기 복원을 통해 생장 및 병해를 정밀 분석하는 시스템을 제안한다.

II. 본론

가. 잎 객체 실제 크기 복원 파이프라인

본 연구에서는 이동형 카메라 환경에서도 잎의 실제 크기를 안정적으로 추정하기 위해, 그림 1과 같이 대표점 추출 - 투영 관계 모델링 - 면적 보정 - 실제 면적 산출로 구성된 4단계 처리 파이프라인을 제안한다. 먼저 잎 세그멘테이션 마스크로부터 윤곽선을 검출하고, 곡률 기반 코너점과 상·하·좌·우 극점을 포함한 대표 keypoint 집합을 구성한다. 이후 keypoint 대응을 통해 잎 평면과 영상 평면 간의 호모그램을 추정하여 잎 윤곽을 정면 좌표계로 정규화한다. 정면화된 윤곽에 대해 ellipse fitting으로 기울기 각도를 추정하고, 이를 기반으로 환경 각도에 따른 면적 축소를 보정한 뒤, 픽셀 면적을 실제 물리적 면적으로 환산한다.

나. 이동형 카메라 기반 잎 추적 및 시계열 복합 분석

YOLO 기반 Segment와 ByteTrack을 결합하여 잎 객체를 추적하되, 카메라 이동에 따른 ID 단절을 방지하기 위해 중심점 거리와 면적 변화율 기반의 의사 제식별(Pseudo Re-ID) 기법을 적용한다. 이를 통해 확보된 연속적인 Leaf ID에 대해 병해 분류 결과를 시계열로 누적하고, 최근 N 프레임 간의 다수결 투표(Majority Voting)로 오분류를 보정한다.

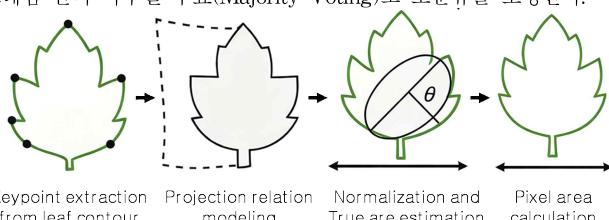


그림 1. 잎 객체 실제 크기 복원 파이프라인

III. 실험 내용

제안 시스템의 성능을 평가하기 위하여, 다각도 토마토 생장 영상을 대상으로 성장률을 평가하였다. 각 잎 ID에 대해 최초 프레임의 면적을 기준 면적 $Area_{initial}$ 로 정하면, 시간 t 에서의 성장률은 다음과 같다.

$$Growth Ratio_t = \frac{Area_t}{Area_{initial}} \quad (1)$$

이를 통해 식물의 성장 상태를 성장(Well-Growth), 정체(Stable), 저하(Poor)로 분류할 수 있다. 실험 결과, 제안 기법은 그림 2와 같이 이동형 환경에서도 투영 왜곡 보정을 통해 Growth Ratio 측정의 분산을 줄이고, 시계열 병해 진단의 정확도를 향상시킴을 확인하였다.

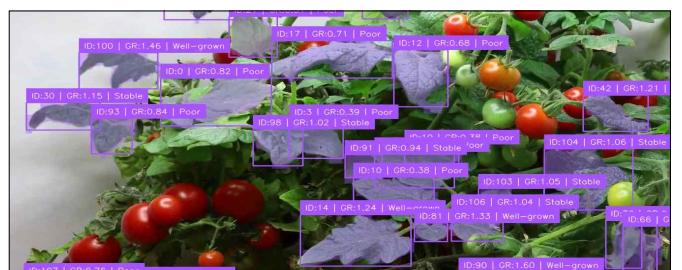


그림 2. 잎 객체 추적 및 생장률 분석 결과

IV. 결론

본 연구에서는 이동형 카메라 환경의 투영 왜곡과 추적 단절을 극복하기 위해, 잎 ID 추적 및 실제 크기 복원 기반의 식물 분석 시스템을 제안하였다. 이를 통해 잎 단위의 시계열 생장 변화와 병해 확산을 정량적으로 분석함으로써 스마트팜의 관리 효율을 제고하였다. 향후 크기 복원 및 병반 분할 기술을 도입하여 분석 정확도를 더욱 고도화할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 대구광역시의 재원으로 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. (과제관리번호: 2025-RISE-03-002)

참고 문헌

[1] M. Jung, et al., “Construction of deep learning-based disease detection model in plants,” *Scientific reports*, vol. 13, no. 1, 2023.