

ToF 카메라 기반 고추 성숙도 판별을 위한 머신비전 서별 알고리즘 설계에 관한 연구

송제호*, 김선우**, 김성중**, 박의준***, 김은찬***

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

** (주)하이브리드센

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a Machine Vision Sorting Algorithm for Pepper Ripeness Determination using a ToF Camera

Je-Ho Song*, Sun-Woo Kim**, Sung-Jung Kim**,

Eui-Jun Park***, Eun-Chan Kim***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Jeonbuk National University

**Hybridsen Co., Ltd

***Dept. of IT Applied System Engineering, Jeonbuk National University

요약

최근 농업 분야에서는 노동력 부족과 생산성 향상을 위해 농작물 수확 공정의 자동화 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 고추와 같은 과채류 작물은 성숙도에 따라 수확 시기가 달라지기 때문에 수확 대상의 상태를 정확하게 판별하는 기술이 중요하다. 본 논문에서는 ToF(Time-of-Flight) 카메라 기반 영상 데이터를 활용하여 고추의 성숙도를 자동으로 판별하기 위한 머신비전 선별 알고리즘을 설계하였다. 제안된 알고리즘은 깊이 정보를 활용하여 작물과 배경을 효과적으로 분리하고, 색상 및 형태 특성을 분석하여 수확 가능 여부를 판단하도록 구성하였다. 또한 객체 검출 과정에서 발생할 수 있는 오검출을 줄이기 위하여 후처리 기법을 적용하여 판별 안정성을 향상시키고자 하였다. 제안된 알고리즘은 비교적 단순한 연산 구조를 기반으로 설계되어 실시간 처리에 적합하며, 다양한 재배 환경에서도 안정적인 성숙도 판별이 가능할 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 농업 분야에서는 고령화와 노동력 부족 문제로 인해 농작물 수확 공정의 자동화와 지능화에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다.[1,2] 특히 고추와 같은 과채류 작물은 재배 면적이 넓고 수확 과정에서 많은 인력이 필요하며, 성숙도에 따라 수확 시기가 달라지기 때문에 적절한 시점에 정확하게 수확 대상을 판별하는 기술이 생산성 향상과 품질 유지에 중요한 영향을 미친다. 이러한 배경 속에서 인공지능과 영상처리 기술을 활용하여 작물의 상태를 자동으로 인식하고 선별하는 지능형 농업 기술이 스마트 농업 분야의 핵심 요소로 주목받고 있다.

기존의 RGB 영상 기반 인식 방식은 조도 변화나 배경 환경의 영향을 크게 받아 성숙도 판별 정확도가 저하될 수 있으며, 작물과 배경을 안정적으로 구분하는 데 한계가 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 최근에는 거리 정보를 동시에 획득할 수 있는 ToF(Time-of-Flight) 카메라 기반 영상 기술이 농업 분야에 적용되고 있으며, 이를 활용하면 작물의 위치와 형태 정보를 보다 정확하게 인식할 수 있다.

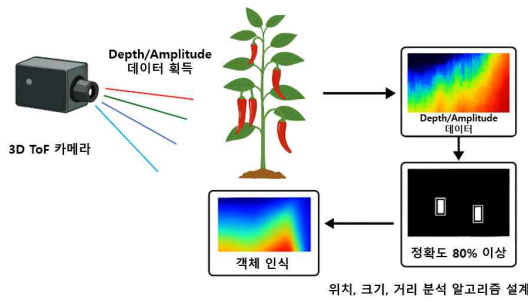
따라서, 본 논문에서는 ToF 카메라를 이용하여 획득한 영상 데이터를 기반으로 고추의 성숙도를 자동으로 판별하기 위한 머신비전 선별 알고리즘을 설계하고자 한다.[3,4] 제안된 알고리즘은 영상 내 고추 객체를 검출하고 색상 및 형태 특성을 분석하여 수확 가능 여부를 판단하도록 구성하였으며, 다양한 환경 조건에서도 안정적인 성숙도 판별 성능을 확보하는 것을 목표로 한다.

2. 본론

본 연구에서는 고추 수확 자동화 과정에서 수확 대상의 상태를 정확하게 판단하기 위하여 ToF(Time-of-Flight) 카메라 기반 영상 데이터를 활용한 성숙도 판별 알고리즘을 설계하였다. ToF 카메라는 대상 물체까지의 거리를 실시간으로 측정할 수 있어 색상 정보뿐 아니라 깊이 정보를 동시에 획득할 수 있으며, 이를 통해 작물과 배경을 보다 안정적으로 구분할 수 있는 장점을 가진다. 특히 시설 재배 환경에서는 잎과 줄기, 지지대 등 다양한 요소가 복잡하게 혼재되어 있어 단순한 색상 기반 영상 처리만으로는 정확한 객체 분리가 어려운 경우가 많기 때문에, 깊이 정보를

활용한 객체 분리 과정이 성숙도 판별의 정확도를 향상시키는 중요한 요소로 작용한다.

영상 데이터는 ToF 카메라를 통해 실시간으로 획득되며, 획득된 영상은 전처리 과정을 거쳐 분석에 활용된다. 전처리 단계에서는 영상 내 노이즈를 제거하고 밝기 및 대비를 보정하여 객체 인식에 적합한 영상 품질을 확보하도록 하였다. 또한 깊이 영상에서 일정 거리 범위를 기준으로 배경 영역을 제거하는 방식의 필터링 기법을 적용하여 관심 영역을 효과적으로 추출하도록 구성하였다. 그림 1은 ToF 카메라 기반의 고추 과실 탐지 과정을 나타낸 것이다.



[그림 1] ToF 카메라 기반 고추 과실 탐지 개념도

이러한 과정은 잎이나 줄기와 같은 불필요한 객체를 최소화하고, 실제 수확 대상인 고추 과실 영역만을 선별하는 데 중요한 역할을 수행한다.

전처리된 영상에서는 객체 검출 단계가 수행되며, 이 단계에서는 영상 내에서 고추 과실의 위치를 탐지하고 후보 영역을 생성하도록 구성하였다. 객체 검출 과정에서는 색상 정보와 형태 정보를 동시에 활용하여 고추의 외형적 특징을 기반으로 객체를 구분하도록 설계하였다. 특히 고추의 색상 변화는 성숙도 판단에 중요한 지표로 활용될 수 있으므로, 색상 공간 변환을 통해 특정 색상 범위를 효과적으로 추출하고 이를 기반으로 객체 영역을 분리하도록 하였다. 또한 객체의 크기와 윤곽 정보를 분석하여 비정상적인 형태나 잡음 객체를 제거함으로써 검출 정확도를 향상시키도록 구성하였다.

성숙도 판별 단계에서는 검출된 객체의 색상 특성과 형태 정보를 분석하여 수확 가능 여부를 판단하도록 설계하였다. 일반적으로 성숙한 고추는 일정한 색상 범위와 형태적 특성을 가지므로, 객체의 평균 색상 값과 면적, 길이 등의 특징 값을 계산하고 이를 기준값과 비교하여 성숙 상태를 판별하도록 하였다. 이러한 방식은 복잡한 학습 기반 모델을 사용하지 않고도 비교적 간단한 연산 구조로 안정적인 판별 성능을 확보할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 성숙도 판단 결과는 이진 형태의 판별 결과로 출력되어 이후 수확 제어 과정에서 수확 여부를 결정하는 기준 정보로 활용될 수 있도록 구성하였다.

또한 성숙도 판별 과정에서 발생할 수 있는 오검출을 줄이기

위하여 후처리 과정을 추가적으로 적용하였다. 동일한 객체가 연속된 영상 프레임에서 반복적으로 검출되는 경우에만 최종 수확 대상으로 판단하도록 하여 일시적인 노이즈나 조명 변화에 의한 오검출을 최소화하도록 설계하였다. 이러한 다중 프레임 기반 검증 방식은 실제 농업 환경과 같이 조도 변화가 잦은 환경에서도 안정적인 판별 결과를 유지하는 데 효과적인 방법으로 활용될 수 있다.

제안된 성숙도 판별 알고리즘은 영상 입력부터 객체 검출, 성숙도 판단, 결과 출력에 이르는 일련의 과정을 실시간으로 수행할 수 있도록 구성되었으며, 다양한 재배 환경에서도 안정적인 동작이 가능하도록 처리 속도와 정확도를 고려하여 설계되었다. 이러한 알고리즘 구조는 기존의 수작업 기반 선별 방식에 비해 작업자의 의존도를 줄이고, 수확 대상 판별의 일관성을 확보할 수 있는 기반 기술로 활용될 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 ToF 카메라 기반 영상 데이터를 활용하여 고추의 성숙도를 자동으로 판별하기 위한 머신비전 선별 알고리즘을 설계하였다. 제안된 알고리즘은 깊이 정보를 포함한 영상 데이터를 기반으로 수확 대상 객체를 검출하고, 객체의 색상 및 형태 특성을 분석하여 수확 가능 여부를 판단하도록 구성하였다. 이를 통해 복잡한 재배 환경에서도 작물과 배경을 안정적으로 구분하고, 성숙도 판별 과정의 일관성과 정확도를 확보할 수 있는 기반을 마련하였다.

또한 제안된 성숙도 판별 알고리즘은 비교적 단순한 연산 구조를 기반으로 설계되어 실시간 처리에 적합하도록 구성하였으며, 실제 농업 현장에서 요구되는 안정적인 동작과 적용 가능성을 고려하여 구현하였다. 이러한 알고리즘 구조는 수작업 중심의 기존 선별 방식에서 발생할 수 있는 판단 오류와 작업 편차를 줄이고, 수확 공정의 자동화 수준을 향상시키는 핵심 요소 기술로 활용될 수 있다.

향후 연구에서는 다양한 재배 환경과 품종에 대한 영상 데이터를 추가적으로 확보하여 성숙도 판별 기준을 보다 정밀하게 보정하고, 영상 처리 성능의 안정성을 향상시키는 방향으로 연구를 확장할 필요가 있다. 또한 다양한 작물에 적용 가능한 범용 선별 알고리즘으로 발전시킨다면, 본 연구에서 제안한 기술은 스마트 농업 기반 자동화 시스템의 핵심 영상 인식 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Arad, Boaz, et al. "Development of a sweet pepper harvesting robot." Journal of field robotics 37.6 (2020): 1027-1039.

- [2] Montoya-Cavero, Luis-Enrique, et al. "Vision systems for harvesting robots: Produce detection and localization." *Computers and electronics in agriculture* 192 (2022): 106562.
- [3] Neupane, Chiranjivi, et al. "Evaluation of depth cameras for use in fruit localization and sizing: Finding a successor to kinect v2." *Agronomy* 11.9 (2021): 1780.
- [4] Fu, Longsheng, et al. "Application of consumer RGB-D cameras for fruit detection and localization in field: A critical review." *Computers and Electronics in Agriculture* 177 (2020): 105687.

본 연구는 중소벤처기업부의 2025년도 창업성장기술개발사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제번호 : RS-2025-23525036]