

고추 수확 자동화를 위한 머신비전 기반 선별 알고리즘을 적용한 로봇 제어 시스템 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 Robot Control System Applying a Machine Vision-Based Sorting Algorithm for Automated Pepper Harvesting

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

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

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

**Hybridsen Co., Ltd

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

요약

본 논문에서는 농업 현장의 고령화와 노동력 부족 문제를 해결하기 위한 방안으로, 머신비전과 로봇 제어 기술을 융합한 지능형 고추 수확 로봇 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 ToF 카메라 기반 인식 모듈을 통해 고추의 위치와 성숙도를 정밀하게 판별하고, 궤도형 이동 플랫폼과 로봇 암 제어 모듈을 결합하여 협소한 시설과 노지 환경에서도 안정적인 수확을 가능하게 한다. 다양한 환경 조건에서 데이터셋을 확보하여 학습과, 후처리 기법을 적용하여 인식 정확도를 향상시키고자 하며 실시간 데이터 피드백 기반 제어를 통해 인식과 제어 간의 오차를 최소화하고자 한다. 최종적으로는 실제 재배 환경에서 반복 실험을 통해 인식 성능, 주행 안정성, 수확 품질 등을 검증하여 시스템의 현장 적용 가능성을 확인하고자 한다. 본 연구의 결과는 수확 과정의 효율성과 정밀성을 동시에 달성함으로써 농가의 경영 부담 완화와 농업 생산성 향상에 기여할 수 있으며, 향후 스마트 농업의 핵심 기술로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 농업 분야는 고령화와 노동력 감소라는 구조적 한계에 직면하고 있으며, 이로 인해 농작물 수확 공정의 자동화 및 지능화에 대한 요구가 점차 증가하는 추세이다. 특히 고추와 같은 고부가가치 작물은 재배 면적이 넓고 노동 집약도가 높아, 생산성 향상과 품질 유지를 동시에 달성하기 위한 기계화 기술의 필요성이 강조되고 있다. 이러한 배경 속에서 인공지능, 로봇공학, 센서 융합기술을 활용한 스마트 농업 시스템은 기존의 인력 의존적 방식에 대한 대안으로 주목받고 있다.

그러나 실제 농업 현장에서는 환경적 다양성과 비정형적 작물 특성으로 인해 기계화 적용에 어려움이 존재한다. 기후와 재배 방식에 따른 고추의 형태적 차이, 시설 내 협소한 작업 공간, 기존 기계식 장비의 낮은 인식 정밀도 및 제어 불안정성은 자동화 시스템의 효율성을 저해하는 주요 요인으로 지적된다. 이로 인해 안정적인 수확량 확보와 농가의 노동 부담 완화라는 과제가 여전히 해결되지 못하고 있으며, 새로운 방식의 접근이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 머신비전 기반 객체 인식과 로봇 제어 기술을 융합한 지능형 고추 수확 로봇 시스템을 제안한다. ToF 카메라를 이용한 정밀 인식 알고리즘을 통해 수확 대상을 정확히 판별하고, 자율 주행 플랫폼과 로봇 암 제어 기술을 결합하여 복잡한 환경에서도 안정적인 수확을 가능하게 한다. 이를 통해 농업 자동화의 기술적 완성도를 제고함과 동시에, 농업 생산성 향상 및 지속 가능한 농업 구현에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

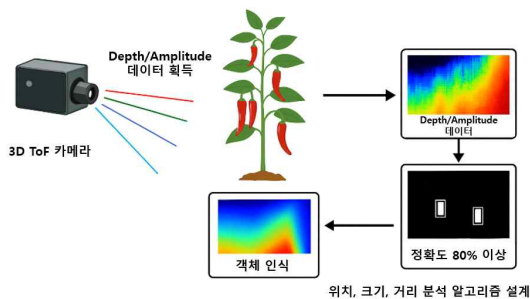
2. 본론

본 논문에서 제안하는 지능형 고추 수확 로봇 시스템은 인공지능 기반의 인식 기술과 로봇 제어 기술을 융합하여 농업 현장의 노동력 부족 문제를 해결하고, 수확 공정의 효율성을 향상시키는 데 목적이 있다. 전체 시스템은 지능형 인식 모듈, 이동 주행 모듈, 수확 제어 모듈로 구성되며, 각 모듈은 상호 유기적으로 연동되어 자동화된 수확을 가능하게 한다.[1]

지능형 인식 모듈은 ToF 카메라를 기반으로 한 머신비전 알고리즘을 통해 고추의 위치와 성숙도를 정확히 판별하며, 다양한 조도와 배경 환경에서도 안정적인 인식이 가능하도록 설계된다.[2-4] 이를 통해 수확 대상을 정확히 추출할 수 있으며, 기존 기계식 장비의 낮은 인식 정밀도를 보완한다.

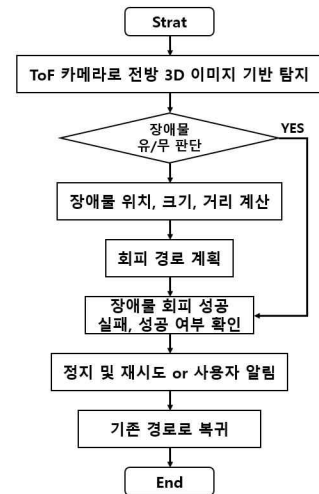
이동 주행 모듈은 궤도형 플랫폼을 기반으로 IP65 이상의 방수방진 기능을 적용하여 시설뿐만이 아닌 노지에서의 이동 안정성을 확보하고 고랑 경계 식별과 경로 이탈 방지 설계를 통해 작업 효율성을 극대화한다. 수확 제어 모듈은 로봇 암과 절단 장치로 구성되며, 인식 모듈로부터 제공된 좌표 정보를 바탕으로 정밀하게 동작하여 작물 손상을 최소화하면서 신속한 수확을 수행할 수 있다.

수확 대상을 선별하기 위한 인식 알고리즘 개발은 먼저 다양한 환경 조건에서 확보된 데이터셋을 활용하여 머신비전 기반 객체 인식 알고리즘을 학습시키고, 인식 성능을 개선하기 위한 데이터 증강 및 후처리 기법을 적용한다. 그림 1은 ToF 카메라 기반의 고추 과실 탐지 기술 구성도를 나타내었다.



[그림 1] ToF 카메라 기반 고추 과실 탐지 기술 구성도

이후 하드웨어 단계에서는 로봇 플랫폼과 구동부를 제작하고, 인식 모듈과 수확 제어 모듈을 연동할 수 있는 제어 보드를 구현한다. 통합 단계에서는 각 모듈을 하나의 시스템으로 결합하여 실시간 데이터 피드백 기반 제어를 수행하며, 이를 통해 인식 결과와 로봇 제어 사이의 오차 사이클을 최소화한다. 또한, 고랑 내 돌, 덩굴 등과 같은 장애물을 회피하여 주행할 수 있도록 3D 이미지 기반의 탐지 기술을 적용하고, 장애물 회피를 위한 경로 재설정 알고리즘 개발하고자 한다. 그림 2는 장애물 인식 및 회피 제어 기술 알고리즘 순서도이다.



[그림 2] 장애물 인식 및 회피 제어 기술 알고리즘 순서도

최종적으로는 실제 재배 환경과 유사한 환경에서 성능 검증이 이루어지며, 반복적인 주행 및 수확 실험을 통해 알고리즘의 인식 정확도, 제어 시스템의 안정성, 수확 품질 유지 능력을 평가하고자 한다. 또한, 검증 과정에서 축적된 데이터를 기반으로 제어 알고리즘을 보정하고 시스템을 최적화하여 현장 적용 가능성을 높인다.

제안된 고추 수확 로봇 시스템은 기존의 수작업 중심 수확 방식이 가진 한계를 보완하며, 농업 현장에서 요구되는 효율성과 정밀성을 동시에 달성할 수 있다. 지능형 인식 기술은 고추의 성숙도와 위치를 정확히 판별함으로써 불필요한 절단이나 누락을 줄이고, 자율 주행 모듈은 좁은 작업 공간에서도 원활한 이동을 가능하게 한다. 또한, 로봇 암 기반의 정밀 제어는 작물 손상을 최소화하여 수확 품질을 유지하고, 장기적으로는 생산성 향상과 농가 경영비 절감에 기여할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 농업 현장의 고령화와 노동력 부족 문제를 해결하기 위한 방안으로, 머신비전과 로봇 제어 기술을 융합한 지능형 고추 수확 로봇 시스템을 제안하였다. 기존 수확 방식이 갖는 인력 의존성과 낮은 효율성 등의 한계를 보완하기 위해 본 연구는 ToF 카메라 기반 인식 모듈, 궤도형 이동 플랫폼, 로봇 암 제어 모듈을 결합한 새로운 자동화 시스템을 설계한다. 이를 통해 수확 과정에서의 인식 정확도 향상과 안정적인 주행, 작물 손상 최소화라는 목표를 동시에 달성하고자 한다.

제안된 시스템은 지능형 인식 알고리즘을 통해 다양한 재배 환경에서 고추의 위치와 성숙도를 정확히 판별할 수 있으며, 자율 주행 기반 이동 모듈은 시설 및 노지 환경 모두에서 효율적인 작업 수행을 가능하게 한다. 또한 로봇 암 제어 기술을 적용하여 정밀하고 신속한 수확이 가능하며, 실제 재배 환경에서의 반복 실

험을 통해 시스템의 신뢰성과 적용 가능성을 검증하고자 한다.

향후 연구에서는 인식 알고리즘의 성능을 더욱 고도화하고, 다양한 품종 및 생육 단계의 작물에 대응할 수 있는 범용성을 확보하는 것이 필요하다. 또한 군집 로봇 시스템이나 클라우드 기반 데이터 연동과 같은 확장 연구를 통해 농업 자동화의 범위를 확대한다면, 본 연구에서 제안한 고추 수확 로봇 시스템은 스마트 농업 구현을 위한 핵심 기술로 발전할 수 있을 것이다. 이를 통해 농업 노동력 문제 해결과 지속 가능한 농업 생태계 조성에 중요한 역할을 수행할 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] 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.
- [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] Montoya-Cavero, Luis-Enrique, et al. "Vision systems for harvesting robots: Produce detection and localization." *Computers and electronics in agriculture* 192 (2022): 106562.

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