

LiDAR 센서 활용 객체 인식기술이 적용된 농업용 자율주행 이송 로봇 개발

김종실* · 주영태* · 김응곤**

Object Recognition Technology using LiDAR Sensor for Obstacle Detection of
Agricultural Autonomous Robot

Jong-Sil Kim* · Yeong-Tae Ju* · Eung-Kon Kim**

요 약

우리나라 농업은 고령화로 인해 인력이 부족해 생산성이 감소하고 있다. 이를 극복하기 위해 농업용 로봇 시장이 빠르게 성장하고 있으며 농업용 로봇의 원격제어와 자율주행에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 농업용 로봇의 외형 및 구조를 설계하고 구동을 위한 장치 및 제어시스템을 구현하였다. LiDAR 센서를 활용, 최적화해 자율주행을 위한 필수 기능인 객체 인식기술을 적용하였다. 이를 통해 농업에서 노동력이 가장 많이 필요한 운송작업의 인건비 절감과 더불어 생산성을 향상 시킬 수 있다.

ABSTRACT

Agriculture in South Korea is losing productivity due to the lack of manpower as aging population increases. To overcome this, the agricultural robot market is growing rapidly, and research is being conducted on remote control and autonomous driving of agricultural robots. This work designs the appearance and structure of agricultural robots and implements the devices and control systems for driving. By utilizing and optimizing LiDAR sensors, we applied object recognition technology, which is an essential function for autonomous driving. This can reduce labor costs and improve productivity of transportation tasks that require the most labor in agriculture.

키워드

Agriculture, Automated Driving, Object Recognition, Robot, Sensor
농업, 자율 주행, 객체 인식, 로봇, 센서

1. 서 론

현재 농업 시장은 식량 수요가 공급을 초과하여 식량 부족이 심화되고 있으며 특히 우리나라 농업은 심각한

고령화로 인해 생산성이 감소하고 농가 인력부족으로 총체적인 문제를 겪고 있다[1].

1970년 1442만 명이었던 농업인구는 2018년 102만 명으로 10%도 채 안 되는 수준으로 감소하였고 고령에 따른

* 순천대학교 컴퓨터공학과

(nikekjs@nate.com, niea@daum.net)

** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2021. 04. 19

• 수정완료일 : 2021. 05. 18

• 게재확정일 : 2021. 06. 17

• Received : Apr. 19, 2021, Revised : May. 18, 2021, Accepted : Jun. 17, 2021

• Corresponding Author : Eung-Kon Kim

Email : kek@scnu.ac.kr

농업포기, 전업 등으로 2018년 기준으로 전년대비 2만 1천 가구(-2.0%), 농가인구는 10만 7천 명(-4.4%) 감소하였으며 앞으로도 계속해서 감소할 것으로 보이고 있다[1].

기존 농업의 한계를 극복하고 노동력을 비롯한 투입 자원의 감소와 수확량의 증가로 농가의 소득증대와 더불어 농산물의 생산성을 높이기 위하여 농업용 로봇 시장이 빠르게 성장하고 있다[2].

농업용 AI 로봇은 농업생산과 가공, 유통, 소비의 전 과정에서 스스로 서비스 환경을 인식하고, 상황을 판단하여 자율적인 동작을 통해 지능화된 작업이나 서비스를 제공하는 기계이다[3].

농업용 로봇의 현재 주행 제어기술을 보면 탑승 중심이 되는 수동 주행과 시제품 형태의 자율주행으로 이루어져 있고 최근 연구 방향은 농업용 로봇의 원격제어와 무인 자율주행으로 나아가고 있다[4].

농업용 로봇의 무인 자율주행이란 ‘농기계가 스스로 농장에서의 작업을 하고 오는 전 과정을 무인화’한다는 것으로, 사물 인식과 장애물 회피 기능 등 인공지능(AI) 기술 기반의 농업 로봇이 요구되고 있다[4].

본 연구는 농업용 로봇에 인공지능 기반 자율주행 기술을 도입함으로써 농업에서 노동력이 가장 많이 필요하고 안전한 작업이 요구되는 운송작업으로 인건비 절감과 더불어 생산성을 향상 시킬 수 있다.

이에 본 논문은 농업 이송과정에 최적화된 자율주행 로봇을 제안하고, 로봇의 설계 및 구현 과정을 기술한다. 2장에서는 자율주행 농업용 이송 로봇을 구성하는 장치 및 구성 모듈의 설계 및 제작에 관한 내용을, 3장에서는 장애물 감지용 객체 인식을 위한 LiDAR 센서를 활용한 객체의 거리측정 연구 과정을, 4장에서는 본 논문의 결과를 기술한다.

II. 농업용 자율주행 이송 로봇 구동부 개발

2.1 농업용 AI 로봇 구동부 설계 및 제작

국내 과수농가(사과, 감, 귤 등)의 작업환경 이동통로의 최소폭은 약 100cm 정도로 이를 고려하여 농업용 로봇의 크기는 100cm(l)*80cm(w)*50cm(h)로 농장에서 이송에 사용하는 플라스틱 사각 상자가 차지하는 면적을 고려하여 제품을 구성하며, 최소 10kg~50kg 중량의 농산물을 이동할 수 있도록 설계하였다.

로봇의 무게 중심은 로봇의 중앙 하단부에 배치 될 수 있도록 해 로봇이 전복되는 문제를 최소화 할 수 있도록 구성하고, 전·후방 하단부에는 직경 60mm 내외, 폭 150mm 내외의 넓은 마름모꼴 보조 바퀴를 장착하여 로봇이 바닥면과 부딪혀도 작동에 문제가 없도록 설계를 진행하였다.

메인 프레임은 상용 트럭과 유사한 각형 구조물을 조립하여 구성하며, 전·후면 범퍼를 비상정지 시 로봇을 멈출 수 있는 비상 스위치로 사용하며 상단 프레임은 원형 파이프를 절곡하여 차체를 구성했다.

그림 1은 농업용 AI 로봇의 구동부 외형 설계 자료이다. 그림 2는 로봇 외형 부의 세부 구성도이다.



그림 1. 농업용 AI 로봇 외형 구조 설계
Fig. 1 Design of agricultural AI robot structure

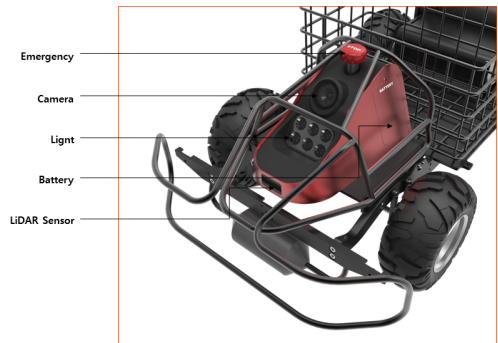


그림 2. 농업용 AI 로봇 외형 세부 구성도
Fig. 2 Design of agricultural AI robot detail structure

2.2 자율 구동을 위한 조향 및 구동 장치

농업용 AI 로봇은 일반 자동차와 유사한 구조로 전면 바퀴는 조향을 담당하고, 후면 바퀴는 추진을 위한 모터를 장착하여 구동력을 가질수 있도록 설계하였다. 구동에 사용되는 모터는 36V BLDC 모터 2개를 사용하여 후면 좌·우측에 독립적으로 장착하였다.

후면 구동축은 조향장치와 연계하여 직진일 경우 동일

한 회전수로 작동하며 방향 전환시 방향의 효율적인 변화를 위하여 좌/우측의 회전수를 변화하도록 설계하였다. 사람의 탑승이 아닌 물류용 이송이 목적으로 단순하면서 정비가 용이한 그림 3과 같은 일체 차축식 제품으로 제작하고 조향기어로는 서보모터를 활용하여 조향이 가능하도록 제작하였다[5].



그림 3. 일체 차축식 현가장치
Fig. 3 Solid axle suspension

2.3 센서 기반 메인 시스템 제어부

메인 시스템은 3축 가속도 센서, 지자기 센서, 자이로 센서 등을 포함하며, GPS 데이터 수신이 가능하도록 해 메인 시스템과 통신을 통하여 데이터를 송수신을 통해 전체 시스템 관리 및 구동 제어 모듈과 연계를 담당한다. 메인 시스템은 SBC(Single Board Computer)를 기반으로 확장성을 확보하고 구동 관련 모듈 및 자율주행을 위한 객체 인식용 모듈 등과 연계할 수 있도록 그림 4와 같이 시스템을 구성하였다.

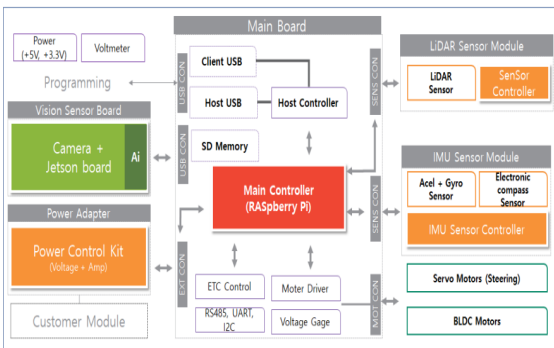


그림 4. 농업용 AI 로봇 메인시스템 구성도
Fig. 4 Agricultural AI robot main system architecture

가속도 데이터와 자이로스코프 데이터를 기반으로 로봇에 발생하는 진동, 충격과 모션 정보 등을 수집하여 구

동 알고리즘에 의해 제어가 가능한 프로그램을 개발하였다. 센서에서 수집된 데이터를 기반으로 필터링 알고리즘을 적용한 현재 상태 값 분석이 가능하고 로봇 소프트웨어 개발을 위한 미들웨어 프로그램인 ROS(Robot Operation System)을 사용하여 하위 모듈 제어 및 프로세스 간 메시지 전송 및 패키지 관리를 통해 다양한 통신 기능을 사용하여 하위 모듈의 데이터 수집/처리/관리가 가능하다. 그림 5는 ROS를 통한 각 모듈의 관리 구성도이다.

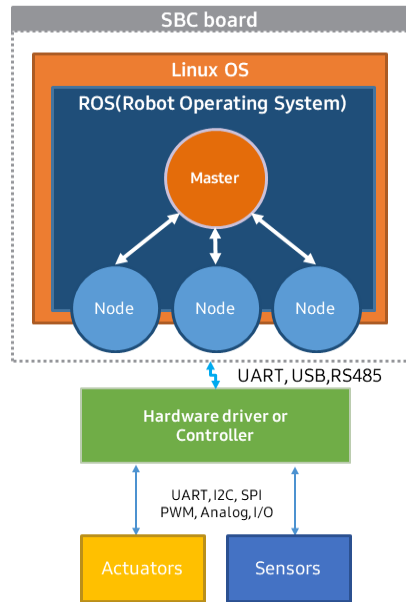


그림 5. ROS를 통한 모듈관리
Fig. 5 Module management by ROS

2.4 카메라 및 LiDAR 센서 시스템 개발

영상 데이터 수집을 위한 카메라는 카트리지 타입의 통합제어부 전방에 장착하고 카메라 제어 보드는 메인시스템 제어부와 연동하여 데이터 전송 및 저장을 처리한다. 수집된 데이터는 딥러닝 기반 객체 분류 모델 적용을 통해 인식되는 객체의 종류를 판단하고 LiDAR 센서 데이터와 연계 처리를 통해 보다 정확한 객체 인식 및 거리 데이터 처리가 가능하다[6]. 이중 LiDAR 센서는 적외선 파장대의 전파를 이용하여 특정 객체와의 거리 데이터를 수집할 수 있으며, 조도, 태양의 일사량에 의하여 수집 데이터값의 오류가 발생함에 따라 LiDAR 센서에서 수집된 데이터에 대한 최적의 필터링 기법 및 데이터 변환 프로그램을 개발하였다.

III. LiDAR 센서 활용 객체 인식 프로그램 개발

3.1 객체 인식을 위한 LiDAR 센서

농업용 AI 로봇의 객체 인식을 위한 데이터 수집은 Benewake사의 CE30-D 센서를 사용하였다. ROS 패키지를 통해 데이터를 읽기 위해 필요한 종속성으로 로봇 제어를 위해 사용되는 운영체제인 ROS를 설치 후 CE30-D 드라이버 라이브러리를 설치하였다. 적용한 LiDAR 센서의 사양은 아래 표 1과 같다.

표 1. LiDAR 센서 사양
Table 1. LiDAR Sensor Sepc.

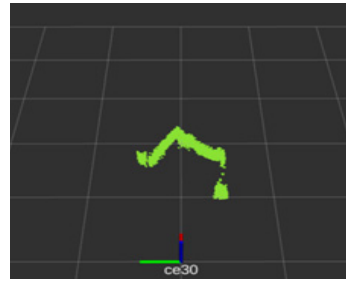
Type	Sepec.
Detecting Range	0.4~30m
Pixel Resolution	320*20
Ranging Resolution	1cm
Repeatability	≤3cm
Accuracy	≤5cm
Ambient Light Immunity	60klux
Supply Voltage	12V

3.2 지정영역 검출(ROI) 및 최적화

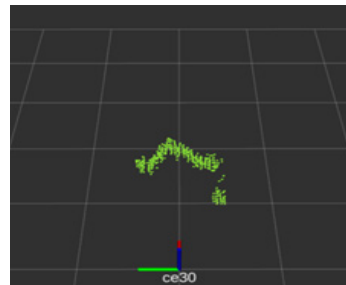
LiDAR 센서를 통한 지정영역 객체 검출을 위해 Open 3D를 설치하고 ROI를 구현하는 라이브러리 코드를 가져와 적용하기 위해 Open 3D 기반으로 작성된 ROI 라이브러리 코드를 설치된 ROS 버전과 호환되도록 수정하였다 [7]. 수신되는 포인트 클라우드 데이터를 기반으로 ROI 알고리즘을 적용하여 LiDAR 센서 전방 1~2.5m, 좌우 0.5m에 해당하는 영역에 대해 지정영역을 검출하였다.

ROI 연산 최적화를 위해 포인트 클라우드에 Voxel Down Sampling 및 이상치 제거를 통해 포인트 클라우드의 개수를 줄여 Voxel Size의 값이 커질수록 더욱 높은 강도로 샘플링이 적용되는 것을 확인하고 노이즈 제거에 따라 연산시간 지연은 최소 0.7초에서 최장 7초로 확인하였다. 따라서 원본 포인트 클라우드의 밀도가 낮을수록 연산시간이 오래 걸리는 것을 확인 할 수 있었다.

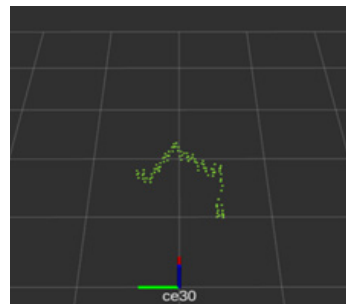
아래 그림 6은 Voxel Size에 따라 검출되는 포인트 클라우드 밀도 값이다.



(1) None Voxel Down Sampling



(2) Voxel Size 0.5



(3) Voxel Size 1.0

그림 6. Voxel Size에 따른 포인트 클라우드 밀도
Fig. 6 Point cloud density according to Voxel Size

3.3 좌표 특정 알고리즘 개발

카메라 영상 및 센서데이터 수집을 통해 주행 방향의 장애물을 인지하고 데이터 분석을 통해 공간상의 간섭 여부 및 주행 가능 여부를 판별을 위한 프로그램을 개발하였다. 프로그램에 적용된 좌표 특정 알고리즘은 로봇의 카메라에서 받아들인 영상데이터와 LiDAR 센서에서 검출된 데이터의 매핑을 통해 주변 환경정보를 생성하여 보다 정확하게 객체를 인식할 수 있다[8].

로봇 외형 부에 장착된 카메라에서 받아들인 영상 데이터를 객체를 분류하는 YOLO(You Only Look Once) 모델을 적용, 객체의 포인트 클라우드의 y축에 맞게 스케일

링 해준 후, 포인트 클라우드의 좌표상에서 객체의 y좌표로부터 x축과 평행하게 선을 그려 객체가 있는 포인트를 찾고 그 포인트에 대해 객체의 위치로 매핑하여 객체를 추적하도록 그림 7과 같이 적용하였다[9][10].

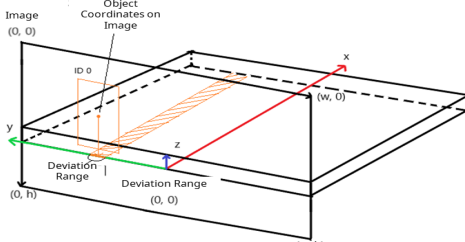


그림 7. 좌표 측정 알고리즘
Fig. 7 Coordinates mapping algorithm

카메라의 영상데이터를 YOLO 모델을 적용하여 받아온 좌표 데이터와 좌표 처리를 위한 Transform 패키지를 통해 y축의 값이 0인 좌표중에 x축의 값이 가장 작은 점에 매핑하고 지정한 좌표에 지속적으로 Transform 데이터를 매핑하였다.

객체의 추적은 좌표 특정 알고리즘을 통해서 감지하고 긴급정지에 필요한 감지 영역을 전방 1로 최소화한 후 Open 3D를 이용한 ROI 알고리즘을 통해 검출하여 처리해 주행 중에 객체의 위치와 주변 상황을 인지하고 처리에 따른 데이터 결과를 메인 시스템에 송·수신 한다.

그림 8은 카메라 영상데이터를 YOLO모델 적용을 통해 얻어낸 객체 상자의 중심 좌표 값이다. 그림 9는 이미지 상의 객체 좌표를 기준으로 매핑한 3차원 상의 객체 위치 처리 결과이다.

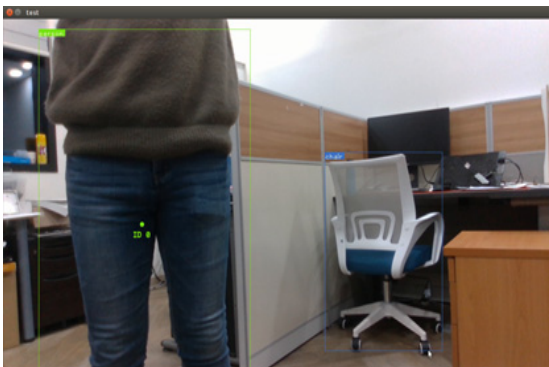


그림 8. 영상 데이터 YOLO모델 적용 결과
Fig. 8 Image Data YOLO model application result

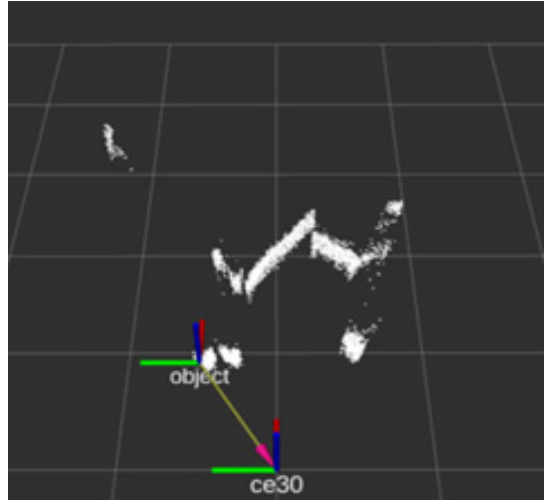


그림 9. 3차원상의 객체 위치 분석 결과
Fig. 9 Object location analysis result

IV. 결론

본 연구는 과수농가 요구사항 및 로봇 활용 분야 분석을 통해 사용환경을 고려하여 소형 제품으로 객체 인식 기반 자율주행에 최적화할 수 있는 농업용 이송 로봇에 대한 연구를 진행하였다.

농업 현장의 주행 상황에 맞는 구동 장치를 제작하고 주행 제어시스템을 설계 및 구현하였다. 농업용 로봇의 자율주행을 위해 거리 데이터 수집을 위하여 LiDAR 센서를 활용하고, LiDAR를 통해 얻은 데이터를 Open3D 데이터로 변환한 뒤, ROI(지정영역 검출)를 적용하기 위해 Pass through filter를 적용하여 사용할 영역 만큼만 분할한 뒤, 최적화를 통한 연산 속도 감소를 위해 검출한 데이터에 대해 Voxel Down Sampling을 적용하고, 비정상적인 노이즈 제거를 위하여 Radius Based Outlier Removal(거리 기반 이상치 제거)를 적용하였다. 이를 통해 객체와의 거리 및 장애물 인식을 최적화하였다.

소형화 로봇에 자율주행을 결합한 형태의 농업용 로봇을 개발하여 많은 노동력이 필요한 농가 수확물 운송의 로봇 자율주행으로 작업을 최적화하면 과실 이송의 과정을 생략하여 인건비 절감, 생산성 및 안전성을 향상 시킬 수 있다.

인공지능 기반 영상데이터 분석 객체 인식 및 LiDAR 센서 데이터를 통한 장애물 회피 기술 적용으로 농업용 로봇의 자율주행 최적화 및 무인화를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 중소기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화산업육성+(R&D, S2912130)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

References

[1] Statistics Korea, “Agriculture, Forestry and Fishery Survey in 2018,” *Press Release*, 2018.

[2] J. Jeong and S. Hyun, “AI+ Add Intelligence to Future Society(Agriculture),” *National Information Society Agency*, 2017.

[3] T. Kim, Y. Kim, H. Jeong, Y. Kim, and Y. Park, “Study of Autonomous Navigation for Path Guide System Using RFID,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, 2019, pp. 213-218.

[4] H. Park, J. Kwon, T. Hwang, and D. Kim, “A Development of Effective Object Detection System Using Multi-Device LiDAR Sensor in Vehicle Driving Environment,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 313-320.

[5] Y. Lee and Y. Ryoo, “Manual and Automatic Steering System Using Pulley and Electrical Clutch for Manned and Unmanned Electric Vehicle,” *J. of Korean institute of intelligent systems*, vol. 22, no. 5, 2012, pp. 597-602.

[6] J. Park and K. Choi, “Overview of Sensor Fusion Techniques for Vehicle Positioning,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 2, 2016, pp. 139-144.

[7] S. Kwon and T. Park, “Polar-View Based Object Detection Algorithm Using 3D Low-Channel Lidar,” *J. of the institute of control robotics and systems*, vol. 25, no. 1, 2019, pp. 56-62.

[8] S. Bae, H. Choi, and K. Jung, “YOLO Model FPS Enhancement Method for Determining Human Facial Expression based on NVIDIA Jetson TX1,” *J. of the Korea Institute of*

Information, electronics, and Communication Technology, vol. 12, no. 5, 2019, pp. 467-474.

[9] P. Chen, Y. Shi, Q. Zheng, and Q. Wu, “State-of-the-art of Object Detection Model Based on YOLO,” *In Proc. IEEE Int. Conf. Communications, Xi’an, China, Sept. 2020*, pp. 101-105.

[10] M. Kim, S. Bae, and H. Kim, “Real-Time 3D-LiDAR Object Detection in Autonomous Vehicle Systems Using Cluster-Based Candidates and Deep Learning,” *J. of the institute of control robotics and systems*, vol. 25, no. 9, 2019, pp. 795-801.

저자 소개

김종실(Jong-Sil Kim)



2006년 2월 : 순천대학교 화학과 졸업(이학사)

2018년 3월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : 임베디드시스템, 인공지능, 영상처리

주영태(Yeon-Tae Ju)



2006년 2월 : 순천대학교 컴퓨터 과학전공 졸업(공학사)

2018년 3월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : ICT융합, 에너지 ICT, 영상처리

김응곤(Eung-Kon Kim)



1980년 2월 : 조선대학교 공학사

1986년 2월 : 한양대학교 공학석사

1992년 2월 : 조선대학교 공학박사

1993년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI