

카메라 모듈과 2D LiDAR를 활용한 객체의 3차원 위치 추정 기법 연구

김민경¹, 최영미², 최홍록¹, 정준호³, 윤주상^{3*}

¹동의대학교 산업ICT기술공학과, ²동의대학교 컴퓨터공학과, ³동의대학교 인공지능학과

kmksummer0902@gmail.com, *jsyoun@deu.ac.kr

A Study on 3D Position Estimation of Objects Using Camera Module and 2D LiDAR

MinKyeong Kim¹, YoungMi Choi², HongRok Choi¹, Junho Jeong³, Joosang Youn^{3*}

¹Dept. of Industrial ICT Engineering, Dong-Eui University

²Dept. of Computer Engineering, Dong-Eui University

³Dept. of Artificial Intelligence, Dong-Eui University

요약

본 논문은 저비용 센서를 활용하여 객체의 3차원 위치를 추정하는 방법을 제안한다. 카메라 모듈과 2D LiDAR를 활용하여 객체의 3차원 좌표를 산출하고, 이를 기반으로 로봇 팔을 제어한다. YOLOv5 모델을 이용한 객체 인식으로 카메라 이미지에서 물체의 2차원 좌표를 추정한 후, LiDAR 데이터와의 좌표 통합으로 3차원 좌표를 산출한다. 또한 로봇 팔을 통해 다양한 위치의 물체에 대해 정확하게 파지할 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 본 기술은 생산 및 포장 현장에서 비용 효율적인 자동화 솔루션으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

최근 인공지능과 로봇 기술의 발전에 따라 객체 인식과 추적 기술이 자율주행, 제조 자동화, 서비스 로봇 등 다양한 산업 분야에서 주목받고 있다. 해당 분야의 기존 연구들은 주로 depth 카메라 또는 3D LiDAR 등을 활용하여 물체의 3차원 좌표를 얻는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 센서는 높은 정밀도를 제공하지만, 비용이 높다는 단점이 있다. 본 논문에서는 생산 및 포장 라인과 같이 규격화된 물체가 정렬되어 있어 높은 정밀도를 요구하지 않는 환경에서 저비용 디바이스만을 사용하여 로봇 팔이 물체를 파지하기 위한 카메라 모듈과 2D LiDAR를 활용한 객체의 3차원 위치 추정 기법을 제안한다.

II. 카메라 모듈과 2D LiDAR를 활용한 객체의 3차원 위치 추정 기법

기존 연구에서는 객체의 3차원 좌표를 추정하기 위해 고가의 장비를 사용해야 한다는 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 상대적으로 저비용인 카메라 모듈과 2D LiDAR를 결합하여 객체의 좌표와 거리를 효과적으로 추정할 수 있는 시스템을 설계하였다. 본 시스템에서는 카메라 모듈을 통해 입력된 이미지를 YOLOv5 모델을 사용하여 물체의 2차원 좌표를 추정한다. 이를 위해 파지할 물체로 선정한 음료 캔의 이미지를 촬영한 후 확대, 이동, 색상 변환, 좌우반전 등의 데이터 증강 기법을 사용하여 총 333장의 이미지로 데이터셋을 구축하고, 이미지의 바운딩 박스의 x , y 좌표와 너비, 높이를 YOLO annotation 형식으로 라벨링한 후 모델을 학습하였다. 객체의 거리를 얻기 위해 LiDAR로 감지한 깊이 정보는 LPC(Laser Point Cloud) 형식으로 나타내며, 평면상의 픽셀 좌표계로 표현되는 2차원 이미지와 달리 깊이(z 축) 정보를 가지고 있는 레이저 좌표계로 표현된다.

서로 다른 두 개의 센서의 위치 및 각도 차이로 인해 객체의 3차원 좌표를 구하기 위해서는 이미지 좌표계와 레이저 좌표계를 하나로 합치는 과

정이 필요하다. 본 연구에서는 프로세스 초기화 단계에서 ROS의 시각화 툴인 RViz를 사용하여 LPC 중 임의의 포인트를 지정하고, 이미지에서 해당 포인트의 위치를 찾아 매칭하는 과정을 통해 좌표계를 보정하였다. 이를 통해 얻은 3차원 좌표의 위치로 로봇 팔을 정확한 위치로 이동시켜 물체를 파지할 수 있다.

III. 구현 및 실험

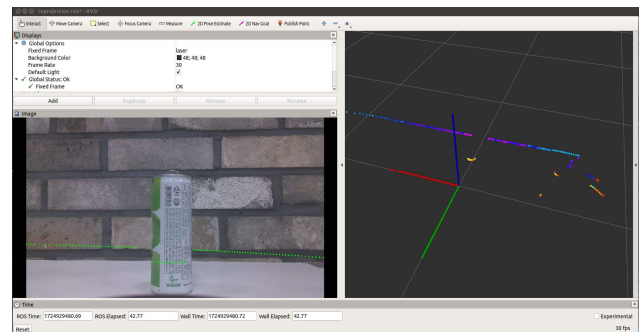
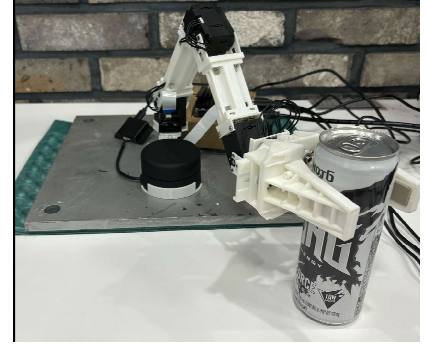


그림 1. RViz를 사용한 좌표 보정

본 시스템은 우분투 OS에 설치된 ROS 환경에서 구현되었으며, Lidar, Image_pub, Projection, Move_RobotArm의 총 4개의 핵심 노드로 구성된다. Lidar 노드는 2D LiDAR에서 수집된 정보를 Projection 노드로 전달하며, Image_pub 노드는 이미지에서 객체의 좌표를 찾아 Projection 노드로 전달한다. Projection 노드는 보정된 이미지 프레임과 레이저 프레임을 합쳐 이미지에 LPC를 투영시킨 새로운 프레임을 생성하고, 해당 프레임에서 객체의 이미지 좌표 x , y 와 가장 가까운 LPC의 x , y , z 좌표를 얻어 Move_RobotArm 노드로 전달을 한다. Move_RobotArm 노드에서는 x , y , z 좌표로 거리를 계산하여 로봇 팔을 이동시킨다. Projection 노드에서는 그림 1과 같이 생성된 새로운 좌표계에 이미지 데이터와 LPC



(a) (b) (c)
그림 2. 다양한 위치의 객체 파지 시연 (a) 가까운 위치의 객체 (b) 먼 위치의 객체 (c) 측면에 위치한 객체

데이터가 담긴 ROS 토픽을 받아 이미지에 점군을 투영시키고, 앞 단계에서 얻은 객체의 x, y 좌표와 가장 가까운 레이저 포인트를 찾아 x, y, z 좌표를 얻고 Move_RobotArm 노드로 좌표가 담긴 토픽을 발행한다. 카메라와 로봇 팔의 동작 범위를 고려하여 임의의 그리드를 생성하였으며, 로봇 팔이 이동할 수 있는 위치는 총 32곳으로 설정하였다. Dynamixel 모터를 관리할 수 있는 툴인 Dynamixel Wizard 2.0를 사용하여 모터의 동작 범위를 측정하고, 모터의 Goal Position을 정한 후 각 위치별로 로봇 팔이 이동하여 물체를 파지할 수 있는 함수를 설계하였다. 4개의 노드 중 Move_RobotArm은 로봇 팔이 파지 물체의 위치로 이동하여 파지 동작을 수행하는 노드이다. 이 노드에서는 객체의 x, y, z 좌표를 ROS 토픽으로 구독하고 로봇 팔과 물체 사이의 거리를 계산하여 앞서 측정한 목표 위치로 모터가 동작하여 로봇 팔이 해당 위치로 이동한 후 물체를 파지한다. 이를 통해 그림 2와 같이 다양한 위치에 있는 객체의 정확한 위치를 추정하고, 로봇 팔을 통해 객체를 파지할 수 있음을 보였다.

표 1은 로봇 팔의 하드웨어 구성을 설명하며, 그림 3은 로봇 팔의 하드웨어 구현을 나타낸다. 로봇 팔은 직접 운동을 하는 관절(joint)과 관절들 사이에 연결된 링크(link)로 구성되어 있다. 본 기술에서 로봇 팔은 5개의 모터(관절)로 구성되어 있으며, 3D 모델링과 프린팅을 통하여 로봇 팔의 링크와 센서를 고정하기 위한 브라켓을 출력하였다. 임베디드 컴퓨팅 디바이스인 Jetson Nano 보드와 모터 사이에 통신 변환 장치 U2D2를 연결하여 TTL 통신으로 임베디드 보드에서 직접 모터를 제어한다.

로봇 팔을 이용한 물체 위치 추정 및 파지 성능을 평가하기 위해 32개의 위치에서 각각 실험을 진행하여 총 32회의 실험을 수행하였다. 제안 시스템은 84.375%의 객체 파지 성공률을 보였다. 파지에 실패한 경우를 분석한 결과, 모든 실패 사례에서 위치 추정에는 성공하였으나 로봇 팔이 해당 위치로 이동하는 알고리즘에서 객체의 위치에 대한 구역 설정에 문제가 있음을 확인하였다.

표 1. 로봇 팔 하드웨어 구성

부품명	기능
NVIDIA Jetson Nano Developer Kit	YOLOv5 모델을 사용하여 실시간 객체 인식 수행 및 ROS를 통한 로봇 팔 제어
YDlidar G2	LiDAR로 주변 환경의 거리 정보를 제공하여 객체의 깊이 좌표를 계산
CSI Camera	실시간 영상 데이터를 Jetson Nano에 제공하여 객체 인식에 활용
Dynamixel XL 430-250-T	로봇 팔의 모터로 객체의 위치로 이동 및 객체를 파지하는 동작 수행
U2D2	Jetson Nano에서 Dynamixel 모터를 제어하기 위한 통신 변환 장치



그림 3. 로봇 팔 하드웨어 구현

IV. 결론

본 논문에서는 카메라 모듈과 2D LiDAR를 이용하여 저비용으로 이미지에서 검출된 객체의 3차원 좌표를 추출하는 기법을 제안하였으며, 저비용으로도 객체의 3차원 좌표를 정확히 추정하여 로봇 팔을 통해 객체를 파지할 수 있음을 보였다. 하지만 해당 기법은 두 센서의 데이터를 융합하여 3차원 좌표를 실시간으로 계산하는 과정에서 지연이 생기고, LiDAR 센서는 환경적 요소에 민감하여 사용 가능한 환경이 제한적이라는 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 향후 연구에서는 해당 기법을 최적화하여 지연을 줄이고, 외부 환경에 강건한 기법을 연구할 계획이다. 또한 위치는 정확하게 추정되었으나 로봇 팔이 해당 위치로 이동하는 과정에서 나타나는 시스템 성능 저하 문제를 해결하기 위해 제어 알고리즘을 개선할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 복합지능자율 행동체SW핵심기술개발사업(RS-2024-00346798)과 부산광역시 및 (재) 부산테크노파크의 BB21plus 사업으로 지원된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] J. Lee, M. Kim, and H. Kim, "Camera and LiDAR Sensor Fusion for Improving Object Detection," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 24, no. 4, pp. 580-591, Jul. 2019.
- [2] S. J. Baek, A. H. Kim, Y. L. Choi, S. J. Ha, and J. W. Kim, "Development of an Object Tracking System using Sensor Fusion of a Camera and LiDAR," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 500-506, Dec. 2022.