

ROS2를 활용한 목표물 기반 3D 라이다-카메라 캘리브레이션 기법

은승우, 한동석*

경북대학교 대학원 전자전기공학부

sweunwave@knu.ac.kr, *dshan@knu.ac.kr

Target-Based 3D LiDAR-Camera Calibration Technique using ROS2

Seung Woo Eun, Dong Seog Han*

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.

요약

최근 자율주행 모빌리티 및 스마트 인프라 시장에 대한 관심이 증가하며, 라이다, 카메라, 레이더 등 여러 센서를 융합하여 외부 환경을 인지하는 기술이 주목받고 있다. 센서 융합을 위해서는 차원이 다른 각 센서의 데이터를 동일한 좌표계로 변환하는 작업이 필요하다. 이를 통해 두 센서의 데이터를 융합하고 객체를 인식할 수 있다. 캘리브레이션을 위해서는 센서 데이터를 시각화하는 과정이 필요하며, 카메라와 라이다는 다른 차원의 좌표계를 사용하기 때문에 각 차원에 적합한 도구를 따로 활용해야 하는 번거로움이 있다. 본 논문에서는 로봇 및 자율주행 모빌리티의 응용프로그램 개발에 사용되는 ROS2(Robot Operating System 2)를 기반으로 라이다-카메라 간의 캘리브레이션을 수행하는 방법을 제안한다. ROS2에서 기본으로 제공하는 도구를 활용하여 구현하였으며, 캘리브레이션 이후 확장 개발에도 유용하게 활용될 수 있다.

I. 서론

최근 자율주행 모빌리티 및 스마트 인프라 시장의 급성장과 더불어 주변 환경을 정확하게 인지하고 분석하는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 다양한 센서를 융합하여 센서 데이터를 효율적으로 활용하는 것은 이러한 기술의 핵심 요소 중 하나이다. 특히, 라이다(LiDAR)와 카메라(Camera)는 자율주행 모빌리티 및 스마트 인프라 시스템에서 주로 사용되는 센서이며, 각각의 장단점을 보완하기 위해 융합적으로 활용된다.[1][2][3]

라이다는 레이저의 반사 값으로 주변 물체의 거리를 정확하게 측정하여 3차원 데이터를 제공하는 반면, 카메라는 색상 정보와 2차원 이미지 데이터를 제공한다. 하지만 두 센서는 서로 다른 차원의 좌표계를 사용하기 때문에 센서 융합을 위해서는 라이다와 카메라 데이터를 동일한 좌표계로 변환하는 캘리브레이션 과정이 필수적이다. 캘리브레이션을 통해 두 센서 데이터를 정확하게 매칭하고, 이를 기반으로 주변 환경에 대한 3차원 정보를 재구성할 수 있다.

위와 같이 서로 다른 차원의 좌표계를 사용하는 센서를 캘리브레이션하는 경우, 각 센서에 적합한 시각화 도구를 사용하여야 하기에 번거로움이 있으며, 필요한 좌표의 정보를 얻기 위한 상호작용 기능 또한 필요하다.

본 논문에서는 로봇 및 자율주행 모빌리티 응용 개발에 널리 사용되는 ROS2 (Robot Operating System 2) 프레임워크를 활용하여 목표물 기반의 라이다-카메라 캘리브레이션을 수행하는 방법을 제안한다. ROS는 다양한 센서에 대한 장치 드라이버를 제공하며, 데이터를 처리하고 시각화하는데 유용한 도구를 포함하고 있다. 또한, ROS 기반 캘리브레이션 방법은 추후 확장 개발에도 유용하다는 장점을 가지고 있다.

II. 본론

본 논문에서는 ROS의 데이터 저장 기능 rosbag을 활용하여, 기록된 라이다와 카메라 데이터로 캘리브레이션을 진행하였다. 라이다-카메라 캘리브레이션은 두 센서 간의 상대적 좌표 및 회전 이동 행렬을 구하는 것을 목표로 하며, 수식 1과 같이 표현된다. 라이다 좌표계의 한 점 $[XYZ1]^T$ 으로

부터 카메라 이미지 위의 픽셀 좌표 $[uv1]^T$ 를 얻기 위해 회전/이동 변환 파라미터 $[R|t]$ 와 카메라 내부 파라미터 A 를 필요로 한다. 회전/이동 변환 행렬 $[R|t]$ 는 목표물, 비 목표물, 덤퍼닝 기반 등 다양한 방법을 통해 구할 수 있다.[4][5] 본 논문에서는 체커보드의 모서리를 특징점으로 추출하여 OpenCV의 PnP(Perspective-n-Point) 함수를 적용시켜 DLT(Direct Linear Transform) 알고리즘으로 목표물 기반 캘리브레이션을 수행하였다.

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & skew * c_u & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$
$$= A[R|t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

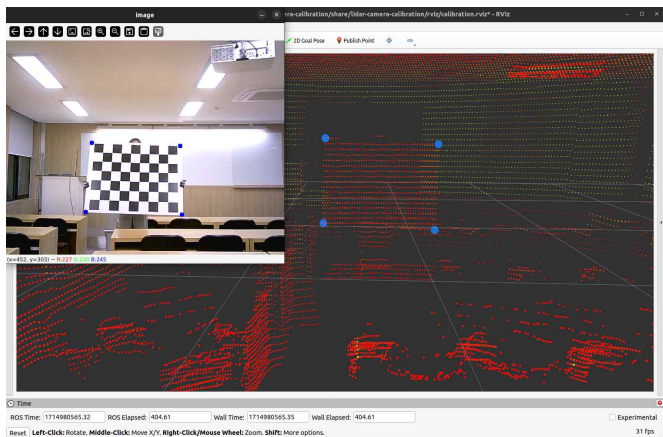
[수식 1] 라이다-카메라 캘리브레이션 변환 행렬



[그림 1] ROS 카메라 캘리브레이션

A는 OpenCV 라이브러리를 사용하여 체커보드의 교차점을 추적하며 도출해내는 것이 일반적이나, ROS에서는 카메라 캘리브레이션을 위한 패키지를 제공하므로 쉽게 도출해 낼 수 있다. [그림 1]은 해당 패키지를 실행한 결과를 보여주고 있다.

다음으로 [R|t]를 구하기 위해서 2D 이미지 상의 좌표와 3D 라이다 데이터의 좌표를 매칭하는 과정을 수행한다. ROS의 RVIZ는 3D 라이다 데이터를 시각화할 수 있으며, Publish Point 기능을 활용하여 3D 상의 좌표를 선택할 수 있다. 또한 ROS는 OpenCV 패키지도 기본으로 제공하므로, 두 도구를 활용하여 카메라와 라이다 데이터를 각각 시각화 한 다음 [그림 2]와 같이 매칭 좌표를 취득할 수 있다. 위 과정을 통해 A와 [R|t]를 구한 결과로, 라이다 데이터를 이미지 상에 투영한 결과는 [그림 3]으로 나타난다.



[그림 2] OpenCV와 RVIZ를 활용한 매칭점 취득



[그림 3] 라이다-카메라 투영 결과

III. 결론

본 논문에서는 ROS2를 기반으로 목표물 기반 라이다-카메라 캘리브레이션을 수행하고, 3D 라이다 데이터를 2D 이미지 상에 투영시킨 결과를 확인하였다. ROS의 기본 시각화 기능 및 패키지를 활용하였으며, 이는 향후 로봇 및 자율주행 모빌리티의 연구와 확장 개발에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문(또는 저서, 특허)은(는) 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임('학연협력플랫폼구축 시범사업' RS-2023-00304695).

참고 문헌

- [1] 김재승, et al. "안전 자율주행을 위한 정밀 센서 융합 시스템." *오토저널* 44.11 (2022): 21-25.
- [2] 백수진, et al. "카메라와 라이다의 센서융합을 이용한 객체 추적 시스템 개발." *한국지능시스템학회 논문지* 32.6 (2022): 500-506.
- [3] 황예빈, et al. "자율주행 트랙터를 위한 비전 센서 융합 기반의 장애물 인식 및 충돌 방지 기술 개발." *한국산학기술학회 논문지* 25.1 (2024): 780-789.
- [4] 배종욱, et al. "카메라-라이다 센서 융합을 위한 캘리브레이션 기법 소개." *한국자동차공학회 논문집* 30.10 (2022): 849-858.
- [5] 이종서, et al. "자율주행 차량의 카메라와 라이다 센서 캘리브레이션 기법 연구." *한국자동차공학회 춘계학술대회* (2023): 390-394.