

소형 모바일 로봇을 위한 투명 물체 탐지 알고리즘에 관한 분석 및 고찰

김영은, 김준영*

성신여자대학교

220246037@sungshin.ac.kr, *jkim@sungshin.ac.kr

Analysis and Implementation Study on Transparent Object Detection Algorithm for Small Mobile Robots

Kim Young Eun, Kim Joon Young*

Sungshin Women's University

요약

자율주행 기술에 사용되는 LiDAR 센서는 빛의 반사를 이용하기 때문에 투명한 물체를 대상으로 측정할 경우 측정값에 오차가 생길 수 있으며 다양한 투명 객체에 대한 정확한 거리 측정을 위한 개선이 필수적이다. 본 논문에서는 다양한 투명 물체가 야기하는 측정값 오차 실험 및 분석을 통해 이동 평균을 활용한 이상 탐지 알고리즘을 제시한다.

I. 서론

자동차 및 소형 모빌리티 장치에서 적용중인 자율주행 기술은 이전부터 다양한 분야에서 중심 기술로써 연구중에 있다[1]. 특히 자율주행 기술에 사용되는 주요 센서 중 하나인 LiDAR(Light Detection and Ranging)의 경우 펄스 레이저 광선을 사용하여 객체에서 반사 및 수신되는 광선의 시간 측정을 통해 거리를 측정하게 된다 [2][3].

LiDAR 센서의 경우 광선으로 거리를 측정하는 만큼 난반사 혹은 대기 문제 등 다양한 원인으로 인하여 측정값에 오차가 생길 수 있다. 특히 실내에서 공간 맵핑을 진행하는데 있어서 오차가 발생할 수 있는 대표적인 경우 중 하나가 투명 물체 대상 거리 측정이다. 객체의 투명도, 표면 상태 및 곡면 등으로 인해 광선 반사를 통해서 거리 측정값에 오차 혹은 왜곡이 발생할 수 있다. 특히 이러한 오차에 대해 진행되었던 기존 연구들 경우 정반사가 일어나는 평면을 대상으로 하고, 측정값의 왜곡을 고려하지 않거나 선제적으로 삭제한 후 다시 채우는 방식을 이용하였다 [3][4]. 따라서 투명 물체 대상의 오차 분석을 토대로 난반사 및 거리 오측정 등 다양한 경우들을 발생시킬수 있는 유리 물체 표면에 대한 분석 및 왜곡 현상에 대한 추가적인 분석이 필요하다.

본 논문은 유리 물체 대상으로 한 LiDAR 센서 감지 알고리즘 구현을 진행하고자 한다. 이를 위해서 우선 곡면이 있는 유리 물체들에 대한 실험과 분석을 토대로 불투명 객체에서의 신호 반사와 다른 경향을 조사하고 이로 인한 측정에 있어서의 문제 해결을 목표로 한다. 특히 곡면 유리와 평면 플라스틱 등 다양한 형태와 투과율을 갖는 투명 물체가 야기하는 측정값 오차를 실험을 통해 수집하고, 이동 평균을 활용한 이상 탐지 알고리즘을 기반으로 하여 오류 탐지 알고리즘을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 LiDAR 센서 측정 위한 연구 방법, 실험 설계, 이상 탐지 알고리즘에 관해 설명한다. 제 3장에서는 실험 결과 및 제안된 알고리즘 적용 성과에 대해 논의하며 제 4장에서는 본 논문의 결론을 작성한다.

II. LiDAR 센서 측정 및 개선 방법

본 논문의 연구 과정은 크게 실험 설계 및 수행, 알고리즘 적용, 결과 분

석으로 이루어진다. 실험용 로봇은 Turtlebot3 Waffle-pi와 그 부속품인 LiDAR LD-08을 이용하였으며, 오차를 관찰할 투명 물체로는 지름 약 14.5cm, 높이 약 30cm의 투명 원형 유리 화병과 가로 33.5cm, 세로 24cm, 높이 19cm의 투명 플라스틱 상자를 이용하였다. 투명 물체의 투명도 조절에는 OHP 필름을 이용하였다. 그림1과 같이 가로 200cm, 세로 90cm의 실험 공간 내에서 Turtlebot은 50cm * 45cm 지점에 고정, 측정할 물체는 각각 100cm, 150cm 지점에 한 번씩 배치하였다.

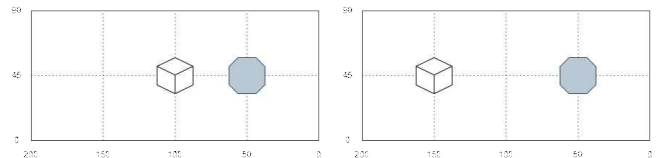


그림 1 LiDAR 센서 측정을 위한 로봇-투명 물체 실험 환경 구조. 투명 물체 경우 좌측 경우 100cm, 우측 경우 150cm 지점 배치

그림 1에 기반하여 진행된 실험 과정은 다음과 같다.

1. 가로 200cm, 세로 90cm의 사방이 막힌 직사각형 공간을 준비하고 공간의 한쪽 끝 50cm 지점에 터틀봇을 배치한다.
2. 공간의 반대쪽 편에는 로봇으로부터 50cm, 100cm 지점에 각각 한번씩 투명 물체를 놓고 LiDAR의 탐지 결과를 수집한다.
3. 이후 투명한 물체에 투명 필름을 이용해 투명도를 조절한 후 동일한 위치에 놓고 LiDAR 탐지 결과를 수집한다.
4. 이상 탐지 알고리즘을 이용해 투명 물체로 인해 오류가 발생했을 것으로 추정되는 구간을 특정하고, 파라미터를 조정하며 성능을 평가한다.

본 실험과정에 기반하여 취합된 데이터를 기반으로 투명 물체 감지를 위한 이상 탐지 알고리즘의 과정은 다음과 같다.

1. LiDAR의 측정값 기준(360도) 10 ~ 15도 정도의 윈도우를 이용한다.
2. 측정값을 선형으로 순회하면서 윈도우 내에서 값의 변화를 확인한다.
3. 윈도우 내 값들의 평균과 표준편차를 기준으로, 표준편차가 임계값보다 크고, 값이 평균보다 커지고 작아지는 경우가 지나치게 빈번하게 발생하면, 값들이 선형성을 보이지 않는다면 이를 오류 구간으로 간주한다.

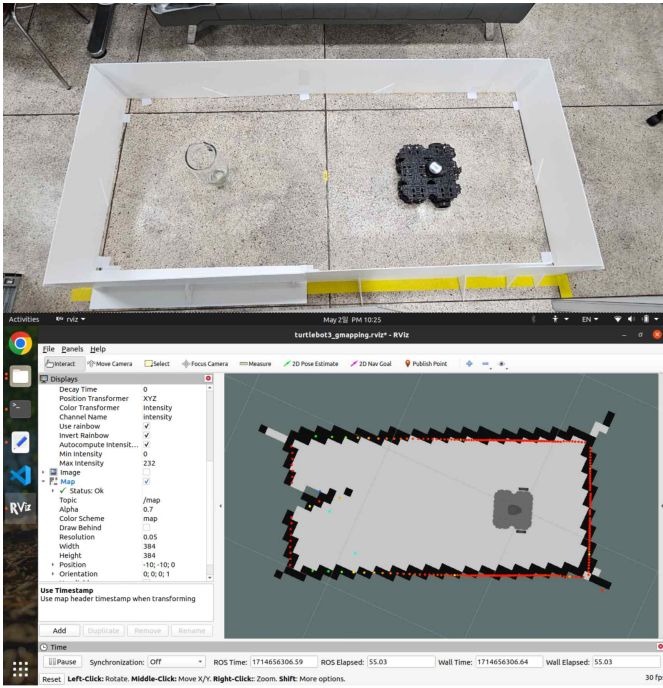


그림 2 실험 환경 및 측정 결과. 위는 150cm 지점에 유리 화병을 놓은 경우의 실험 환경 사진, 아래는 해당 환경에서의 SLAM 실행 화면.

III. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 수행한 실험의 경우 오류의 위치가 거의 일정하므로, 물체의 종류와 거리에 따라 오류 구간을 정하여 알고리즘의 수행 결과와 비교하는 방식으로 성능을 평가하였다. 또한 측정된 값의 경우 실제 거리 값으로 스케일을 조정하여 사용하였다. 성능 평가 결과는 표 1을 참고하며 표 1내에서 계산된 F1 score의 경우 다음의 식으로 계산하였다.

$$F1\ score = 2 \times \frac{1}{\frac{1}{Precision} + \frac{1}{Recall}} = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

본 논문에서 고려한 파라미터는 윈도우 크기 (시야 각도) 와 표준 편차이며 윈도우 크기 경우 각각 10도와 15도로 세팅하여 성능을 비교하였다. 또한 투명도에 따른 결과값 차이 분석을 위해 투명 OHP 3개 부착 기반으로 부착과 미부착 경우로 나누어 진행하였다. 종합 결과의 경우 정확도는 모든 조합에서 90% 이상의 높은 성능을 보였으나, 정밀도와 F1 score에 있어서는 조합에 따라 평균값 차이가 있음을 확인할 수 있었으며 특히 윈도우 크기가 10에 표준 편차가 15인 경우가 가장 높은 정밀도와 F1 Score를 기록함을 확인하였다. 측정을 위한 실험 경우 그림 3과 4에 나타나 있듯이 오류의 경우 빨간색으로 표시하였는데 경우에 따라서 그림 3내와 같이 객체 기반으로 오류 감지를 하는 경우가 있으나 일부 경우 그림 4와 같이 투명 객체 후방부 정상 부분 자체도 오류로 감지하는 경우도 존재함을 확인하였다.

표 1 LiDAR 센서 측정 기반 객체 감지 측정 정확도 실험 결과

필름 유무	윈도우 크기	표준 편차	평균 정확도	평균 정밀도	평균 F1 score
O	10	10	0.9365	0.4925	0.5830
	15	10	0.9107	0.3597	0.4932
	10	15	0.9410	0.5201	0.5906
	15	15	0.9292	0.4454	0.5398
X	10	10	0.9183	0.4208	0.5124
	15	10	0.9109	0.3287	0.4416
	10	15	0.9257	0.4181	0.4779
	15	15	0.9172	0.3521	0.4582

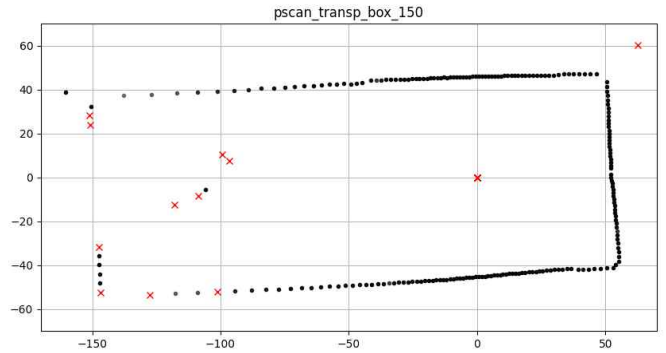


그림 3. -100cm 지점에 투명 박스만 배치된 LiDAR 센서 오류 탐지 결과

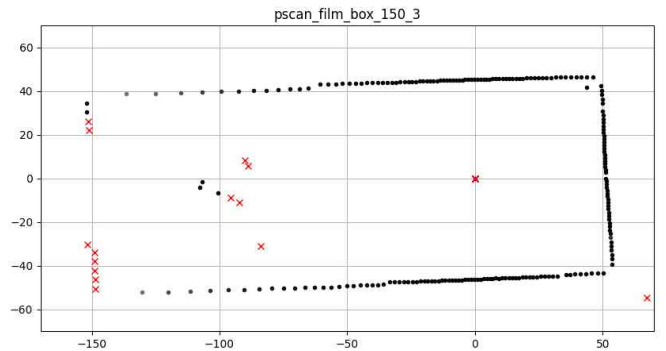


그림 4. 투명 박스 -100cm 지점 배치 & 필름 부착한 오류 탐지 결과.

IV. 결론

본 논문에서는 이동 평균을 이용하여 소형 로봇의 LiDAR 측정값에서 투명 물체로 인해 발생하는 오류 값을 찾아내는 알고리즘에 대해 논의하였다. 해당 알고리즘의 경우 기계학습과 같이 시간과 자원이 많이 필요한 복잡한 기법을 쓰지 않고도 높은 정확도로 LiDAR 측정 시 발생한 오류 값을 찾아낼 수 있다는 점에서 의의가 있으며 낮은 정밀도 개선을 위한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

또한 로봇이 고정된 상태에서 측정된 값만을 이용했기 때문에 이동 중인 로봇에 대한 적용 가능성도 추가로 연구할 필요가 있으며, LiDAR의 측정값에 오차를 발생시킬 수 있는 투명 물체를 더 다양하게 이용하여 물질, 두께, 곡률, 투과율 등의 요소에 관한 경향을 자세히 알아볼 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 안우희, (2023년 10월 18일), 두산·한화도 뛰어든 350조 시장...판 커지는 로봇대전, *한경BUSINESS*
<https://magazine.hankyung.com/business/article/202310110934b>
- [2] 최규동, 한문현, 송민협, 서홍석, 김철영, 홍성철, 민봉기. (2016). 자율주행차 및 스마트카용 라이다 3차원 영상센서 기술개발 동향 및 전망. *한국전자통신연구원*.
- [3] NOAA. (nd), What is lidar?, *National Ocean Service website*,
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- [4] An, Y. C., & Lee, S. H. (2021). 통계적 모멘트를 이용한 정확한 환경 지도 표현을 위한 저가 라이다 센서 기반 유리 특징점 추출 기법. *Journal of Korea Robotics Society*, 16(2), 103 - 111.
- [5] Lee, R, Park, J., & Hong, S. (2023). 실내 환경에서의 레이저 반사도를 고려한 라이다 기반 지도 작성. *Journal of Korea Robotics Society*, 18(2), 135 - 142.