

라이다와 RGB-D 카메라를 이용하는 교육용 실내 자율 주행 로봇 시스템

Educational Indoor Autonomous Mobile Robot System Using a LiDAR and a RGB-D Camera

이수영*, 김재영, 조세형, 신창용*

Soo-Young Lee*, Jae-Young Kim, Se-Hyoung Cho, Chang-yong Shin*

Abstract

We implement an educational indoor autonomous mobile robot system that integrates LiDAR sensing information with RGB-D camera image information and exploits the integrated information. This system uses the existing sensing method employing a LiDAR with a small number of scan channels to acquire LiDAR sensing information. To remedy the weakness of the existing LiDAR sensing method, we propose the 3D structure recognition technique using depth images from a RGB-D camera and the deep learning based object recognition algorithm and apply the proposed technique to the system.

요약

본 논문은 라이다 센싱 정보와 RGB-D 카메라 영상 정보를 융합하여 이용하는 교육용 실내 자율주행 로봇 시스템을 구현한다. 이 시스템은 라이다 센싱 정보를 획득하기 위해 기존의 소 채널 라이다 센싱 방식을 이용한다. 또한 소 채널 라이다 센싱 방식의 약점을 보완하기 위해, RGB-D 카메라 깊이 영상과 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 이용하는 3차원 구조물 인식 방법을 제안하고 이 시스템에 적용한다.

Key words : Indoor Navigation, Mobile Robot, Robot Operating System (ROS), Depth Image, Deep Learning

1. 서론

자율주행 로봇은 공간 제약성에서 벗어나 한 대의 로봇만으로도 여러 장소에서 과업을 수행할 수 있으므로 다양한 분야에 활용될 수 있다. 특히 실내에서 이동하며 과업을 수행할 수 있는 자율주행

로봇은 물품 조달 로봇부터 간호 로봇, 물류 로봇, 안내 로봇 등으로 광범위하게 활용되고 있다[1].

실내 자율주행을 위해 로봇의 이동 경로에 컬러 테이프, 자기테이프, 혹은 전기유도선과 같은 인프라가 필요한 경우 작업 환경이 변할 때마다 해당 인프라를 재설치해야 하므로 작업 환경 변화에 유

* School of Mechanical and ICT Convergence Engineering, Sun Moon University

★ Corresponding author

E-mail : cyshin@sunmoon.ac.kr, Tel : +82-41-530-2387

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1D1A1B03035850).

Manuscript received Feb. 26, 2019; revised Mar. 13, 2019; accepted Mar. 14, 2019

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연하게 대처할 수 없다. 따라서 최근에는 로봇 스스로가 주변 상황을 인지하여 자율적으로 장애물을 회피하며 유연한 길을 찾아 주행하는 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 이 방식은 자율주행을 위한 인프라 설치가 불필요하고 주변 상황이 변하더라도 소프트웨어의 큰 수정 없이 적용 가능하다.

이러한 자율주행을 가능하게 하는 방법은 라이다(LiDAR : Light Detection And Ranging)로 주변 장애물을 센싱하는 자율주행방식[3]과 RGB-D 또는 스테레오 카메라를 이용하는 자율주행방식[4]으로 크게 나눌 수 있다. 라이다를 이용하는 방식인 경우, 다채널 라이다는 장애물 센싱 성능은 좋으나 가격이 비싸고 부피가 크고 무거워 저가의 교육용 소형 실내 자율주행 로봇에 적용하기 어렵다. 반면에 소 채널 라이다는 광원을 360° 회전시켜 주변 장애물을 파악하는 방식으로 turtlebot3[5], chefbot[6] 등과 같은 저가의 교육용 소형 로봇 플랫폼에 많이 사용된다. 그러나 이 방식은 라이다의 수평 방향 장애물만 감지할 수 있어 계단, 경사진 물체 등 3차원 구조물을 제대로 파악하기 힘든 단점이 있다.

RGB-D 또는 스테레오 카메라를 이용한 영상 기반의 실내 자율주행 방식으로는 특징점 기반 vSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) 과 비특징점 기반 vSLAM 등이 있다. 특징점 기반 vSLAM은 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) [7] 또는 ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF) [8]같은 영상의 특징점 매칭을 통해 로봇의 위치를 추정한다. 그러나 이 방식은 정확한 측위를 위해 광범위한 실내 영상 데이터를 이용하여 측위 데이터베이스를 구축해야 하는 불편함이 존재한다. 또한 특징점이 변형되거나 부족할 경우 성능이 감소한다는 단점이 존재한다[9]. 비특징점 기반 vSLAM은 RGB-D 또는 스테레오 카메라를 통해 포인트 클라우드 정보를 입력받고, ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘[10]을 이용하여 카메라의 움직임을 추정한다. 이 움직임을 기반으로 여러 시점에서 얻어진 깊이 정보를 융합하는 방식으로 3차원 지도를 작성하고 로봇의 위치를 추정하여 자율주행을 수행한다[11]. 그러나 이 방식은 전체 시스템 비용과 복잡도를 증가시켜 저가의 교육용 소형 로봇 플랫폼에 구현하기 어려운 단점이 존재한다.

본 논문은 라이다 센싱 정보와 RGB-D 카메라

영상 정보를 융합하여 이용하는 교육용 실내 자율주행 로봇 시스템을 구현한다. 이 시스템은 라이다 센싱을 위해 기존의 소 채널 라이다 센싱 방식을 이용한다. 또한 소 채널 라이다 센싱 방식의 약점을 보완하고 저가의 교육용 자율주행 로봇 플랫폼에 적용 가능한 RGB-D 카메라 영상 기반 자율주행 방식을 제안하여 이 시스템에 채용한다. 제안한 방식은 RGB-D 카메라 깊이 영상과 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘인 You Only Look Once(YOLO) [12-14]을 사용하여 실내 자율주행에 필요한 3차원 구조물을 감지한다. 구현한 자율주행 로봇 시스템은 제안하는 방식으로 감지한 3차원 구조물 정보와 라이다 센싱 정보를 융합하여 활용함으로써 기존의 라이다 수평 방향 장애물만 감지하는 시스템에 비해 우수한 자율주행 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 구현한 실내 자율주행 로봇 시스템의 구성을 설명한다. 제Ⅲ장에서는 제안한 RGB-D 카메라 영상 기반 3차원 구조물 인식 방법과 이것으로부터 추출한 장애물 정보와 라이다 센싱으로부터 획득한 장애물 정보를 융합하는 방식에 관해 기술한다. 제Ⅳ장에서는 실험을 통해 구현한 자율주행 로봇 시스템의 성능을 평가하고 제Ⅴ장에서 결론 맺는다.

II. 실내 자율주행 로봇 시스템 설계

SLAM(Simultaneous localization and mapping) 과 내비게이션, 3차원 구조물 인식 기능을 통해 실제 실내 환경에서 자율주행이 가능한 ROS 기반의 이동 로봇을 다음과 같이 자체 제작하였다. 그림 1은 제작한 실내 자율주행 로봇 시스템의 구성을 보인다. 실내 자율주행 로봇 시스템은 크게 위치 추정부(Location estimation)와 3차원 구조물 인식부(3D structure recognition)를 포함하는 이동 로봇과 이동 로봇 외부에서 이동 로봇에 제어 명령을 전송하는 원격 제어부(Remote control)로 구성된다. 이동 로봇 내의 위치 추정부와 3차원 구조물 인식부는 이동 로봇의 자세 계측 정보와 주변 장애물 계측 정보를 수집한다. 수집된 정보는 자율주행에 유용한 정보로 가공되어 ROS(Robot Operating System)를 통해 와이파이 통신으로 원격 제어부 PC에 전송된다. 이 정보들은 원격 제어부 PC 상의 ROS에서 실시간으로 통합되어 SLAM과 내비게이

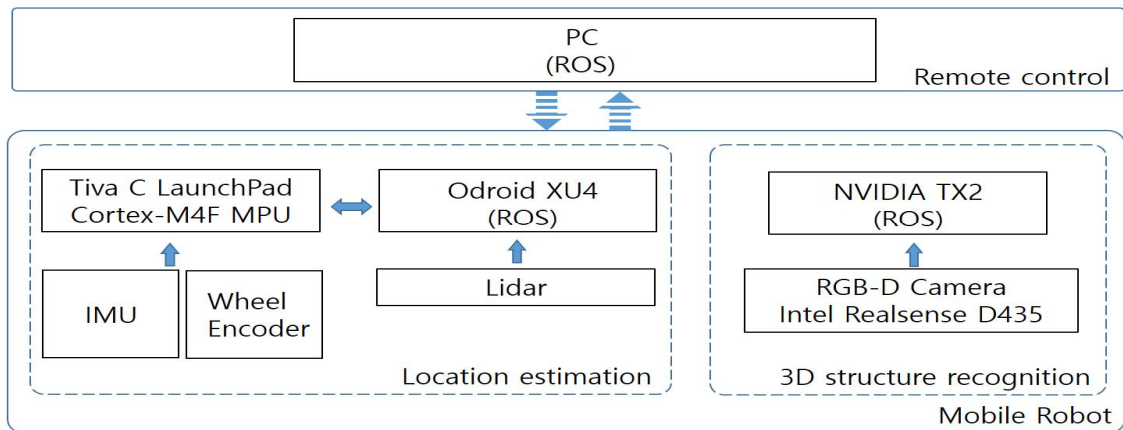


Fig. 1. Indoor autonomous navigation robot system.

그림 1. 실내 자율주행 로봇 시스템

선 명령을 계산하고 결과를 와이파이 통신을 통해 다시 이동 로봇에 전송한다. 이동 로봇은 이러한 내비게이션 명령 수행 결과를 바탕으로 자율주행을 수행하게 된다.

각 기능부의 상세 설계를 살펴보면 다음과 같다. 위치 추정부는 장애물 회피 주행과 지도 작성을 위해 라이다로 이동 로봇 주변 장애물 정보를 수집한다. 그리고 IMU(Inertial Measurement Unit)와 휠 엔코더(Wheel encoder)를 통해 시간 경과에 따른 이동 로봇의 위치 변화를 추정한다. 이를 위해 먼저 Tiva C LaunchPad에서 IMU에서 얻어온 관성 데이터에 매드윅(Madgwick) 필터링 [15]을 수행하여 이동 로봇의 회전 상태를 나타내는 쿼터니언(Quaternion)을 구한다. 또한, 바퀴 이동량을 휠 엔코더 값으로 받아와 2계 룬게-쿠타 데드레커닝(second order Runge-Kutta Dead Reckoning)을 수행하여 이동 로봇의 대략적인 위치를 추정한다. 다음 단계로 이동 로봇의 쿼터니언과 데드레커닝 값을 융합하여 오도메트리(Odometry)를 계산하고 그 결과를 Odroid XU4상의 ROS를 통해 원격 제어부의 PC에 전달한다.

3차원 구조물 인식부는 RGB-D 카메라로부터 얻은 깊이(Depth) 정보와 딥러닝(Deep learning) 기반 객체 인식 알고리즘을 사용하여 3차원 구조물의 상대적인 위치와 방향을 구한다. 본 시스템에서는 원거리까지 정밀한 깊이 정보를 획득하기 위해, 최대 깊이 정보가 짧은 ToF(Time of Flight) 방식 대신 능동 적외선 스테레오 기법을 사용하는 인텔사의 RealSense D435 모델의 RGB-D 카메라를 사용

한다. 이 카메라는 최대 10m까지의 깊이 정보를 획득할 수 있다. 또한, NVIDIA TX2에서는 두 단계로 3차원 구조물 인식을 수행한다. 첫 번째 단계로 RGB-D 카메라로부터 획득한 깊이 정보에 따라 거리가 가까운 영역만 보이도록 RGB 영상을 전처리한다. 두 번째 단계에서는 전처리된 영상에 딥러닝 기반 물체인식 알고리즘인 YOLO(You Only Look Once)를 적용한다. YOLO 수행 결과로 3차원 구조물이 인식되면 YOLO 외곽 사각형(Bounding box)의 시작 좌표와 높이, 너비 정보를 획득한다. 이러한 외곽 사각형 정보를 바탕으로 외곽 사각형 내부의 깊이 정보도 획득한다. 이렇게 획득한 YOLO 외곽 사각형 정보와 YOLO 외곽 사각형 내부 깊이 정보는 ROS를 통해 NVIDIA TX2에서 원격 제어부로 전송된다. 그리고 원격 제어부 PC는 전송받은 3차원 구조물의 YOLO 외곽 사각형 정보와 YOLO 외곽 사각형 내부 깊이 정보를 바탕으로 3차원 구조물의 위치를 파악한다.

ROS 노드를 통해 원격으로 이동 로봇을 조종하는 원격 제어부는 이동 로봇 내의 위치 추정부와 3차원 구조물 인식부로부터 전송된 오도메트리, TF (Transform), 3차원 구조물의 위치 등의 정보를 이용하여 ROS 기반 SLAM을 수행하고 이동 로봇으로 내비게이션 제어명령을 전달한다. 원격 제어부와 이동 로봇 간의 모든 정보는 와이파이 인터페이스를 통해 전송된다. 또한 원격 제어부는 사용자가 이동 로봇의 현 상황을 GUI환경에서 실시간으로 확인할 수 있는 제어 편의성을 제공한다.

그림 2는 본 논문에서 구현한 이동 로봇을 보인다.

이 로봇은 ROS 기반 SLAM 패키지인 Gmapping (Grid-Mapping)을 사용하기 위해 차동 구동형 이동 로봇으로 제작되었다.

다음은 본 논문에서 구현한 이동 로봇이 수행하는 세부적인 3차원 구조물 인식 방법들에 대해 기술한다.

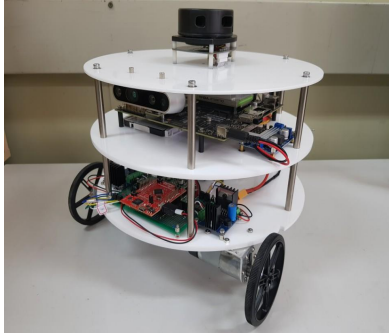


Fig. 2. Implemented mobile robot.
그림 2. 구현된 이동 로봇

III. 라이다와 RGB-D 카메라를 이용한 장애물 인식

1. 라이다를 이용한 SLAM과 내비게이션

RGB-D 카메라를 통해 3차원 구조물을 인식하고 자율주행에 적용하기 위해 앞서, XY 평면상의 2차원 장애물 계측 센서로 라이다만을 이용하는 SLAM과 내비게이션을 구현한다. 이 구현을 설명하면 다음과 같다. 먼저 IMU와 휠 엔코더 등의 모션 센서로 획득한 오도메트리 정보를 원격 제어부에 전송한다. 원격 제어부는 전송된 오도메트리 정보에 따라 이동 로봇 조인트에 부착된 센서의 위치를 나타내는 TF를 생성하고 생성된 이동 로봇의 TF와 라이다로 계측한 2차원 스캔 정보를 기반으로 SLAM을 실행한다. 이동 로봇은 SLAM을 통해 움직이면서 주변을 감지하고 현재 위치를 추정하며 그와 동시에 원하는 지도를 작성한다. 본 시스템에서는 정확한 위치 추정을 위해 파티클(particle) 필터와 칼만(Kalman) 필터를 동시에 사용하는 RBPF(Rao-Blackwellized particle filter) 기반 Gmapping SLAM [16]을 사용한다.

그림 3은 실내에서 SLAM을 통해 얻은 지도 위에 내비게이션 명령을 수행한 결과를 보인다. 이와 같이 작성된 지도 안에서 목표 위치를 설정해주면 이동 로봇이 자율적으로 주행한다. 또한 라이다 수

평 방향으로 추가적인 장애물이 나타나더라도 장애물을 즉각 인식하고 회피한다.

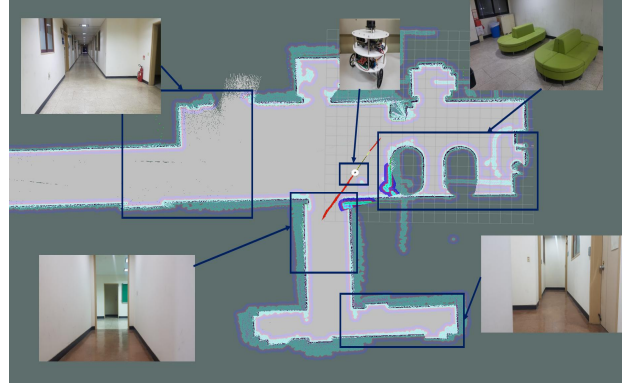


Fig. 3. Navigation using LiDAR based obstacle recognition.
그림 3. 라이다 기반 장애물 인식을 이용한 내비게이션

그러나 이동 로봇에 설치된 라이다의 높이에 비해 상대적으로 낮은 장애물들은 라이다의 수평 방향에서 제대로 감지되지 못하고 충돌하는 상황이 발생한다. 이러한 문제를 해결하고자 본 시스템에서는 라이다를 이용한 2차원 평면 계측뿐만 아니라 RGB-D 카메라 정보를 이용하여 3차원 구조물 인식도 동시에 수행한다. 다음은 RGB-D 카메라에서 획득한 깊이 정보와 딥러닝 알고리즘을 이용하여 3차원 구조물 위치를 인식하는 과정을 기술한다.

2. 제안한 깊이 영상과 YOLO를 이용한 3차원 구조물 인식

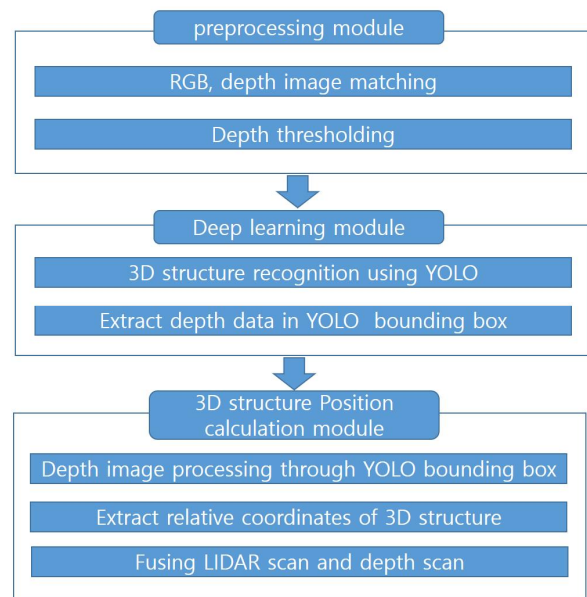


Fig. 4. The process of extracting 3D structure information.
그림 4. 3차원 구조물 정보 추출 과정

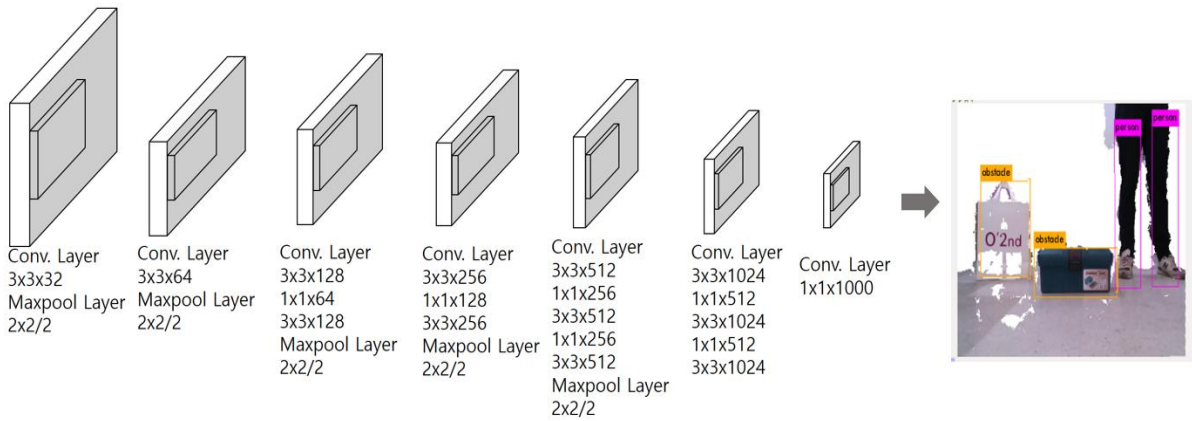


Fig. 5. Darknet-19 YOLO architecture.

그림 5. Darknet-19 YOLO 구조

라이다만을 장애물 계측 센서로 사용할 때 발생하는 취약점을 보완하기 위해 RGB-D 카메라 깊이 정보와 딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘인 YOLO를 이용하여 3차원 구조물 인식을 수행한다. 깊이 영상과 YOLO를 통한 3차원 구조물 인식은 그림 4와 같이 단계적으로 진행된다.

첫 번째 단계에서는 RGB 영상을 깊이 정보에 따라 가까운 영역만 취득하여 배경을 흰색으로 치환하는 전처리 과정을 수행하여 YOLO 입력 영상을 생성한다. 생성과정을 구체적으로 기술하면, 먼저 RGB-D 카메라를 통해 깊이 영상과 RGB 영상을 동시에 획득한다. 그리고 깊이 영상과 RGB 영상을 서로 매칭하여 RGB 영상에서 멀리 떨어진 배경을 흰색으로 치환한다. 그러면 배경 오차(Background error)를 줄이고 가장 가까이 있는 장애물을 우선적으로 판별하게 할 수 있다.

두 번째 단계에서는 전처리한 RGB 영상을 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘인 YOLO의 입력으로 사용하여 3차원 구조물 인식을 수행한다. YOLO는 GoogLeNet 모델을 기반으로 하는 실시간 탐지 딥러닝 알고리즘이다. 이 알고리즘은 실시간 객체 검출을 위해 입력 영상을 여러 개의 그리드 셀로 나누어 단일 컨볼루션 네트워크(convolution network)를 실행한다. 또한 입력 영상을 단일 컨볼루션 네트워크에 1회만 적용하여 여러 개의 외곽 사각형과 외곽 사각형 안에 객체가 존재할 확률을 신속하게 계산한다. 본 시스템에서는 19개의 컨볼루션 레이어와 5개의 맥스풀링 레이어로 구성된 Darknet-19 YOLO 모델[17]을 사용한다. 그림 5는 사용한

Darknet-19 YOLO 구조와 이를 이용한 YOLO 수행 결과 영상을 나타낸다. 인식한 3차원 구조물에 외곽 사각형이 생성한 모습을 보여준다. 그림 6은 첫 번째와 두 번째 단계에서 기술한 바와 같이 RGB 영상과 깊이 영상을 이용하여 가까운 물체만 검출하고 이 영상을 YOLO에 입력하여 3차원 구조물을 인식하는 절차 예시를 보인다.

두 번째 단계에서는 인식한 3차원 구조물의 외곽 사각형 좌표와 외곽 사각형 내부영역의 깊이 정보를 깊이 영상에서 추출하여 다음단계로 전달된다.

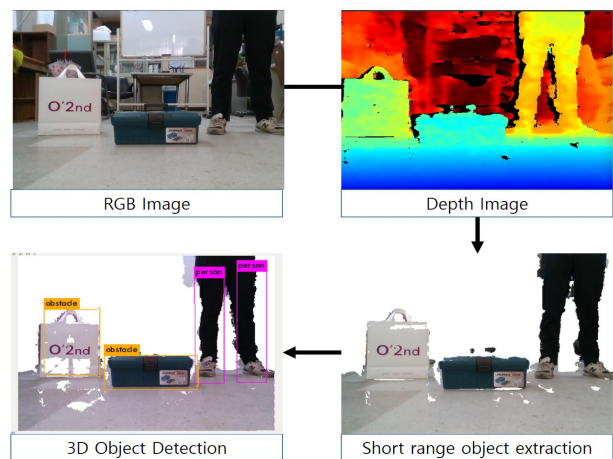
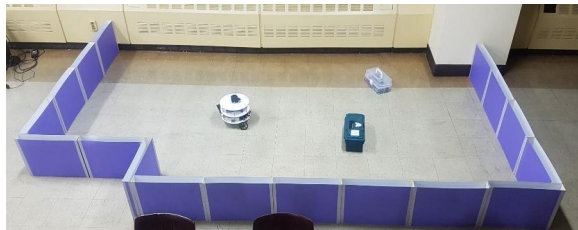


Fig. 6. An example showing 3D object recognition procedure.

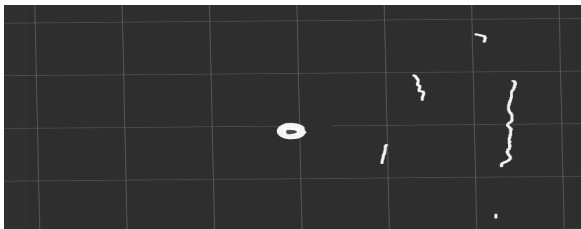
그림 6. 3차원 구조물 인식 절차를 보이는 예

마지막으로 세 번째 단계에서는 외곽 사각형 좌표와 내부 깊이 정보를 바탕으로 깊이 영상을 가공한다. 즉, YOLO에서 인식한 외곽 사각형 좌표에 해당하는 동일한 영역을 깊이 영상에도 외곽 사각

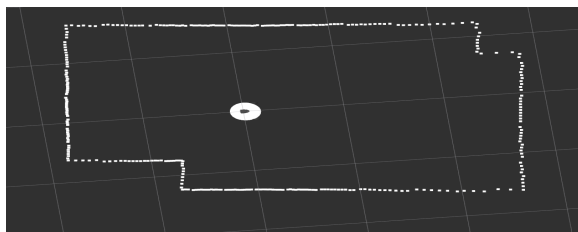
형으로 표시한다. 그리고 나서 깊이 영상에 표시한 YOLO 외곽 사각형의 중심이 깊이 영상의 계측 라인 상에 놓이도록 이 외곽 사각형을 Y축 방향으로 이동시킨다. 그리고 깊이 영상에서 해당영역을 이동된 YOLO 외곽 사각형 내부의 깊이 정보로 대체하여 깊이 영상을 가공한다.



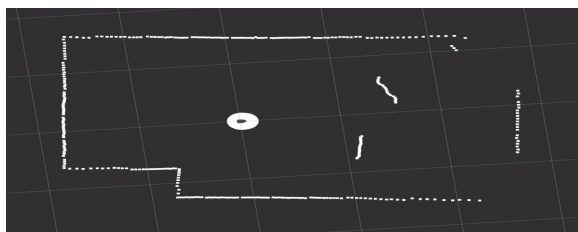
(a) Experiment environment with obstacles



(b) Depth camera scan information



(c) LiDAR scan information



(d) Integrated scan information

Fig. 7. Comparison of scan information.

그림 7. 스캔 정보의 비교

다음 과정으로 가공한 깊이 영상에 ROS 패키지를 적용하여 3차원 구조물에 대한 깊이 카메라 스캔 정보를 추출한다. 깊이 카메라 스캔 정보와 라이다 스캔 정보를 비교하면, 깊이 카메라 스캔 정보는 3차원 구조물을 인식하고 분해능이 높으나 계측 범위는 좁다. 즉, 깊이 카메라 스캔 정보는 RGB-D 카메라의 화각에 따라 제한된 범위 내에서

인식을 수행하지만, 라이다는 360° 전 방위에 대해 측정을 수행한다. 따라서 3차원 장애물을 인식하면서 동시에 계측 범위도 넓은 스캔 정보를 획득하기 위해 깊이 카메라 스캔 정보와 라이다 스캔 정보를 융합한다. 두 스캔 정보를 융합할 때 정합성을 위해 분해능이 상대적으로 낮은 라이다 스캔 분해능에 맞추어 융합한다. 또한, 3차원 구조물을 인식하는 깊이 카메라 스캔 정보와 라이다 스캔 정보가 겹치는 구간에서는 자율주행 안정성을 위해 두 개의 데이터를 비교하여 거리가 상대적으로 가까운 정보를 우선적으로 선택한다. 그리고 넓은 범위에서 장애물을 계측할 수 있도록 깊이 카메라 스캔 계측 범위에서 벗어나는 구간은 라이다 스캔 정보로 채워 통합한다. 이렇게 생성된 통합 스캔 정보를 기반으로 SLAM과 내비게이션을 운용한다.

그림 7에서는 계측된 스캔 정보가 서로 비교된다. 즉, 그림 7(a)는 다양한 장애물이 존재하는 실험 환경을 보이고 그림 7(b)-(d)는 이 환경에서 계측한 깊이 카메라 스캔 정보, 라이다 스캔 정보, 통합 스캔 정보 등을 각각 나타낸다. 그림 7(b)에서 보는 바와 같이, 깊이 카메라 스캔 정보로부터 3차원 장애물의 위치를 확인할 수 있음을 알 수 있다. 또한 RGB-D 카메라의 한정된 화각으로 인해 제한된 전방 범위만 계측됨을 확인할 수 있다. 반면에 그림 7(c)에서 보는 바와 같이 라이다 스캔으로 장애물을 계측하는 경우, 360° 전 방위로 장애물 거리를 측정하지만, 상대적으로 높이가 낮은 3차원 구조물을 인식하지 못함을 알 수 있다. 그림 7(d)에서 보는 통합 스캔 정보는 전 방위로 장애물을 계측함과 동시에 전면에 있는 3차원 구조물도 잘 인식함을 보여준다. 따라서 라이다 스캔 정보과 깊이 카메라 스캔 정보의 장점들만을 취하는 통합 스캔 정보는 단일 스캔 정보의 단점을 극복하여 자율주행에 유용하게 사용될 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

1. 실험 환경

본 장에서는 구현한 이동 로봇의 실내 자율주행 성능을 평가한다. 이를 위해 라이다 스캔 정보만을 이용하는 자율주행 실험과 통합 스캔 정보를 이용하는 자율주행 실험을 하여 성능을 비교하였다. 이 실험을 위해 SLAM과 내비게이션을 제어하는 이

동 로봇의 원격 제어부는 Intel i7-7700HQ 프로세서와 16GB 메모리 사양의 노트북 컴퓨터를 사용하고 원격 제어부 운영체제로는 리눅스 Ubuntu 16.04 LTS와 메타운영체제인 ROS Kinetic Kame 버전을 이용하였다.

YOLO에서 3차원 구조물 인식 모델을 생성하기 위해 3차원 구조물 영상 375장을 이용하여 학습을 진행하였다. 이때 초기 학습률은 0.001, 감쇠율(Decay)은 0.0005, 기울기 보정값인 모멘텀(Momentum)은 0.9로 설정하였다. 학습 반복 횟수는 45,000회로 하며, 유동적으로 학습 속도를 조절하기 위해 학습 반복 횟수에 따라 학습률을 조정한다. YOLO 3000회, 4000회 학습 시마다 학습률에 0.1을 곱해주어 학습 속도를 조정하였다.

자율주행 시 필요한 실내 지도는 Gmapping SLAM 알고리즘으로 작성하였다. 그리고 실내 자율주행 알고리즘은 동적 윈도우 접근(Dynamic Window Approach)을 통해 충돌 가능한 장애물을 회피하고 목표지점에 도달하는 내비게이션 스택을 이용하였다.

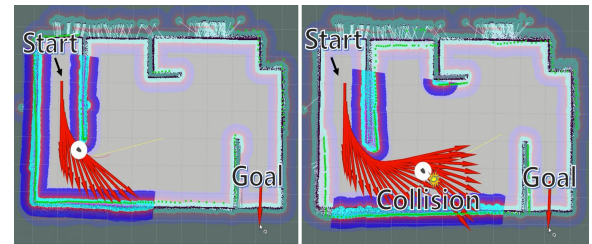
2. 실험 결과 분석

실험은 그림 8(a)과 (d)에 주어진 두 가지 실내 환경에서 라이다 스캔과 통합 스캔으로 계측한 정보를 활용하여 진행하였다. 그림 8(b)과 (c)는 첫 번째 실내 환경에서 계측한 정보에 따라 수행한 자율주행 결과를 나타내고 그림 8(e)과 (f)는 두 번째 실내 환경에서 계측한 정보에 따라 수행한 자율주행 결과를 보인다.

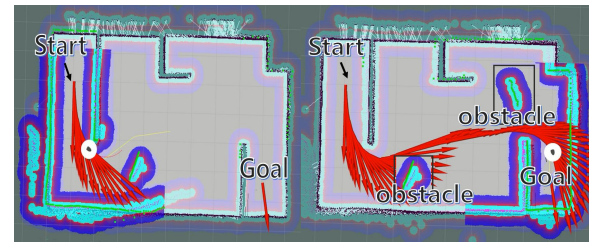
라이다 스캔만을 이용하여 자율주행을 수행한 결과인 그림 8(b)과 (e)는 이동 로봇이 경로상의 3차원 장애물을 인지하지 못해 이것과 충돌함을 보인다. 이로 인해 이동 로봇은 주행 계획 경로를 따르지 못하고 동작이 멈추는 오류가 발생하였다. 반면에 통합 스캔 정보를 활용하여 자율주행을 수행한 결과인 그림 8(c)과 (f)는 이동 로봇이 경로상에 있는 3차원 장애물을 정확하게 인식하고 회피하여 목표지점에 안정적으로 도달함을 나타낸다. 이것으로부터 기존 소 채널 라이다 센싱 방식과 RGB-D 카메라 정보를 결합하여 이용하는 제안 방식의 유용성을 확인할 수 있다. 따라서 이동 로봇에 제안한 방식을 채용함으로써 다양한 3차원 장애물을 정밀하게 계측하고 회피하여 효과적으로 자율주행을 수행하는 것이 가능하다.



(a) The first experiment for indoor autonomous navigation



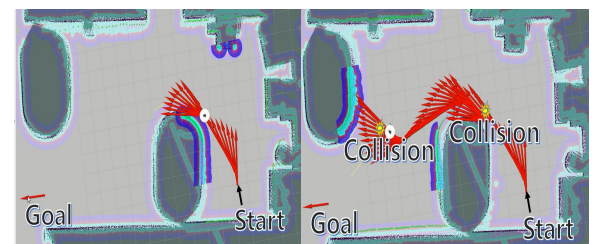
(b) Navigation using only LiDAR scan



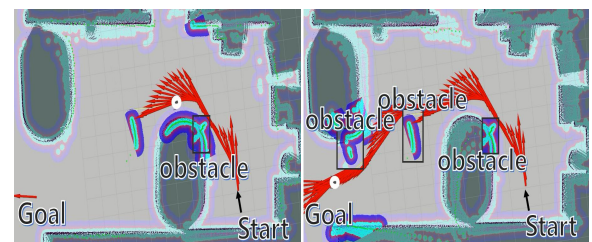
(c) Navigation using integrated scan



(d) The second experiment for indoor autonomous navigation



(e) Navigation using only LiDAR scan



(f) Navigation using integrated scan

Fig. 8. Experiments for indoor autonomous navigation avoiding 3D structure.

그림 8. 3차원 구조물을 회피하는 실내 자율주행 실험

V. 결론

2차원 평면상의 장애물만을 감지할 수 있는 기존 소 채널 라이다 스캔 방식의 단점을 보완하고자 RGB-D 카메라 영상과 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 이용하는 3차원 구조물 계측 방법을 제안하였다. 또한 기존 라이다 스캔 방식과 제안 방식을 통합하는 스캔 방식을 채용하는 교육용 실내 자율주행 로봇 시스템을 구현하였다. 통합 스캔 방식은 2차원 평면상의 장애물뿐만 아니라 3차원 구조물도 정밀하게 계측할 수 있으므로 기존 소 채널 라이다 스캔 방식보다 안정적인 자율주행을 가능하게 한다. 실험을 통해 통합 스캔 방식을 채용하는 시스템이 기존의 라이다 스캔 방식을 이용하는 시스템보다 우수한 자율주행 성능을 보임을 확인하였다. 향후에는 이동 로봇과 원격 제어부 간의 무선 통신 방식에 전이중 혹은 비직교 다중 접속 방식을 적용하여 정보 전송 속도 및 전송 지연을 개선하고자 한다.

References

- [1] K. T. Park and D. H. Kim, "Technology trend of smart mobile robot," *Proc. 13th Int. Conf. Control, Automation and Systems (ICCAS 2013)*, pp. 1149-1151, 2013.
DOI: 10.1109/ICCAS.2013.6704090
- [2] S. H. Kim, "Trend of robot vision technology for intelligent mobile robot," *J. Korea Robot. Soc.*, vol. 9 no. 1, pp. 26-35, 2012.
- [3] I. H. Hwang and K. G. Kim, "Implementation and evaluation of a robot operating system-based virtual Lidar driver," *KIISE Trans. Computing Practices*, vol. 23, no. 10, pp. 588-593, 2017.
DOI: 10.5626/KTCP.2017.23.10.588
- [4] J. S. Kim, "RGB-D camera application research trend," *J. Korea Robot. Soc.*, vol. 8, no. 3, pp. 29-36, 2011.
- [5] U. S. Pyo, "TurteBot3 - ROBOTIS e- Manual," <http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview/>
- [6] L. Joseph, "GitHub Learning Robotics using Python Chefbot_ROS_pkg," https://github.com/qboticslabs/Chefbot_ROS_pkg
- [7] H. Y. Chen, D. Sun, J. Yang, and W. Shang, "Orientation correction based monocular SLAM for a mobile robot," *Proc. the 2008 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 1378-1383, 2008. DOI: 10.1109/AIM.2008.4601863
- [8] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski, "ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF," *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vision*, pp. 2564-2571, 2011.
DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126544
- [9] B. Kwon, D. H. Jeon, J. Y. Kim, J. H. Kim, D. Y. Kim, H. W. Song, and S. H. Lee, "Framework implementation of image-based indoor localization system using parallel distributed computing," *J. Korean Inst. Commun. Inf. Sci.*, vol.41, no.11, pp. 1490-1501, 2016.
- [10] C. A. Kapoutsis, C. P. Vavoulidis, and I. Pitas, "Morphological iterative closest point algorithm," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 8, no. 11, pp. 1644-1646, 1999. DOI: 10.1109/83.799892
- [11] T. J. Oh, S. W. Chung, K. Y. Jung, P. L. Yoon, J. H. Kim, and H. Myung, "Robot navigation and SLAM technology: Application examples of SLAM technology in various environments," *J. Korea Robot. Soc.*, vol. 15, no. 2, pp. 19-25, 2018.
- [12] A. Krizhevshy, I. Sutskever, and G. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 1097-1105, 2012.
- [13] J. C. Redmon, "Darknet Neural Network Framework," <http://pjreddie.com/>
- [14] J. Redmo, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhaid, "You Only Look Once: Unified, real-time object detection," *Proc. The IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 779-788, 2016.
- [15] S. Madgwick, A. Harrison, and A. Vaidyanathan, "Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm," *Proc. IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.*, pp. 1-7, 2011.
DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975346

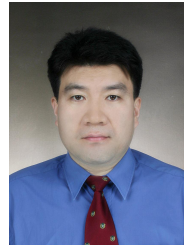
[16] G. Grisetti, C. Stachniss, and W. Burgard, "Open SLAM gmapping,"

<https://openslam-org.github.io/gmapping.html>

[17] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLO9000: Better, faster, stronger," *Proc. The IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 7263–7271, 2017.

BIOGRAPHY

Changyong Shin (Member)



1993 : BS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.

1995 : MS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.

2006 : PhD degree in Electrical & Computer Engineering, University of Texas at Austin.

1995~2001 : Senior Research Engineer, LG Electronics.

2007~2014 : Principal Research Engineer, Samsung Electronics.

2014~ : Professor, Sun Moon University.

Soo-Young Lee (Member)



2019 : BS degree in Information and Communications Engineering, Sun Moon University

Jae-Young Kim (Member)



2019 : BS degree in Information and Communications Engineering, Sun Moon University

Se-Hyoung Cho (Member)



2004 : BS degree in Electronic and Electrical Engineering, University of Seoul.

2007 : MS degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

2016 : PhD degree in Robotics program, KAIST.

2017~ : Assistant Professor, Division of Mechanical and ICT Convergence Engineering, Sunmoon University.