

# 의료환경 개선을 위한 지능형 로봇의 라이다 융합 통합관제시스템 개발

김고은\*, 임재관\*\*, 안창선\*\*\*, 김준민†

## Intelligent Robot-Based Lidar Fusion Integrated Control System Development for Improvement of Medical Environments

Goeun Kim\*, Jaekwan Lim\*\*, Changsun Ahn\*\*\*, and Jun-Min Kim†

### 요 약

저출산으로 인한 노동 인구 감소, 고령화로 인한 의료 수요 증가, 감염병 발생 주기 단축 등으로 의료진의 업무량이 증가하고 있다. 과중한 업무량과 열악한 근무환경은 의료진의 사직률 증가로 이어지고, 의료진의 배치 수준은 환자의 사망률, 재원기간, 병원감염, 낙상, 욕창 등 환자의 건강에 직접적 영향을 미치므로 근무환경의 개선이 필요하다. 지능형 로봇은 의료인력이 직접 운반하던 혈액 샘플 등의 검체, 서류 등의 반복적인 업무를 대신하여 업무 부담을 경감하고, 비대면 이송을 통해 감염병을 예방할 수 있어 지능형 로봇의 병원 도입률이 증가하고 있다. 본 연구에서는 라이다 센서 데이터에서 사람, 로봇, 병상, 휠체어 위치를 딥러닝 네트워크를 이용하여 검출하고 웹에서 관리자가 확인할 수 있도록 자율주행 로봇 관제 시스템을 개발하였다. 객체 검출 지표로는 3D Average Precision을 사용하였으며 성능은 로봇, 사람, 병상, 휠체어에 대하여 각각 90.50%, 89.20%, 60.76%, 100%으로 도출되어, 병원 내 환경에서 자율 주행 로봇을 안전하게 활용할 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

The workload of healthcare workers is increasing due to low birth rates, a declining working age population, increasing demand for healthcare due to an aged population and shortened cycles of infectious disease outbreaks. Excessive workloads and poor working conditions led to increased rates of healthcare workers leaving. Healthcare staffing levels affect patient mortality, length of stay, hospital-acquired infections, falls, pressure ulcers and other aspects of patient health. Therefore, there is an urgent need to improve the working environment. Intelligent robots are increasingly being used in hospitals to reduce the burden of repetitive tasks, such as transporting blood samples and documents, which used to be handled directly by healthcare workers. In this study, we have developed a system that uses deep learning networks to detect the positions of people, robots, hospital beds and wheelchairs within the 3D objects obtained by LiDAR sensors. We used 3D Average Precision as the object detection metric, and the performance results for human, robot, hospital bed and wheelchair detection were as follows: 99.97%, 35.85%, 30.46% and 100%, respectively. These results confirm the safe use of self-driving robots in the hospital environment.

### Key words

Autonomous Robot, Robot Control System, LiDAR, Object Detection

\* 서울대학교 공과대학 협동과정 바이오엔지니어링, rhdms52@snu.ac.kr

\*\* (주)엑스큐브 대표이사, jakelim@x-cube.co.kr

\*\*\* (주)엑스큐브 개발5팀, myunghye1004@naver.com

† 한성대학교 기계전자공학부, jmkim@hansung.ac.kr

※ 본 논문은 산업통상자원부 산하 한국로봇산업진흥원에서 지원한 2022년도 AI·5G 기반 대규모 로봇 융합모델 실증사업(사회문제해결형)의 일환으로 지원되었음(No.2023-03004-1)

## I. 서 론

저출산으로 인한 노동 인구 감소, 고령화로 인한 의료 수요 증가, 감염병 발생 주기 단축 등으로 의료진의 업무량이 증가하고 있다[1]. 과중한 업무량과 열악한 근무 환경은 의료진의 사직률 증가, 의료 서비스의 질 하락으로 이어져 환자의 건강에 직접적 영향을 미치므로 근무환경의 개선이 필요하다.

병원 환경 내 지능형 자율 주행 로봇을 도입하면, 기존의 의료진이 수행하던 혈액 표본 등의 검체 운송, 길 안내와 같은 노동 집약적 업무 및 보조적 업무를 대신할 수 있다. 따라서 의료진의 업무 부담을 완화하는 방법으로 병원 내 지능형 로봇 활용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[2].

하지만 병원 내 환경은 사람, 병상과 휠체어 등이 혼재한 환경으로 자율주행 로봇에 대한 관제가 제대로 이루어지지 않을 경우, 로봇이 다른 물체와의 충돌할 가능성이 있고, 병원 운영에 지장을 줄 수 있다. 따라서 충돌 방지를 위한 로봇 관제 시스템 내의 정확한 객체 탐지 알고리즘의 탑재가 필요하다. 또한 일반 CCTV를 통한 RGB 카메라 데이터를 사용하여 자율주행 로봇에 대한 추적, 관찰을 수행할 시 안면이 인식되어 개인 정보가 그대로 노출, 저장될 수 있어 개인정보 비식별화 과정이 필수적이다. 그러나 포인트 클라우드(Point Cloud) 데이터 형태를 갖는 라이다(Lidar) 데이터[3]는 환자나 의료진의 안면 형태에 대한 정보는 인식할 수 없고, 사

람과 물체와 같은 서로 다른 객체를 구분하는 데에는 어려움이 없어 보안과 익명성 보장이 필수적인 의료기관 내에서 활용하기에 적합하다.

본 연구에서는 자율주행 자동차에 주로 사용하는 360도 회전식 라이다 대신 물리적인 움직임이 없고 감시 목적에 적합한 플래시(Flash) 라이다를 이용하여 지능형 로봇의 통합관제시스템을 개발하였다.

## II. 라이다 융합 통합관제 시스템

본 연구에서 개발한 지능형 로봇 주행 관제 시스템의 경우, 데이터 수집, 정제, 통신을 위한 시스템 전체 네트워크, 로컬 서버, 관제 서버, 딥러닝 객체 검출 알고리즘으로 이루어진다. 각 역할은 다음과 같다.

### 2.1 지능형 로봇 주행 관제 시스템 네트워크

본 연구에서 병원 네트워크는 외부에서 접속할 수 없는 폐쇄망으로 구성되어 있으며, 구축망을 그림 1에 나타냈다. 따라서 보안을 고려하여 관리자가 외부에서 병원 내부에 구축된 관제 서버에 접속할 수 있도록 VPN(Virtual Private Network)을 이용하여 네트워크를 구축하였다. 로봇에 명령을 전달하거나 로봇으로부터 상태 정보를 받기 과정도 초저지연 특성을 갖는 5G 네트워크[4]를 통해 이루어진다.

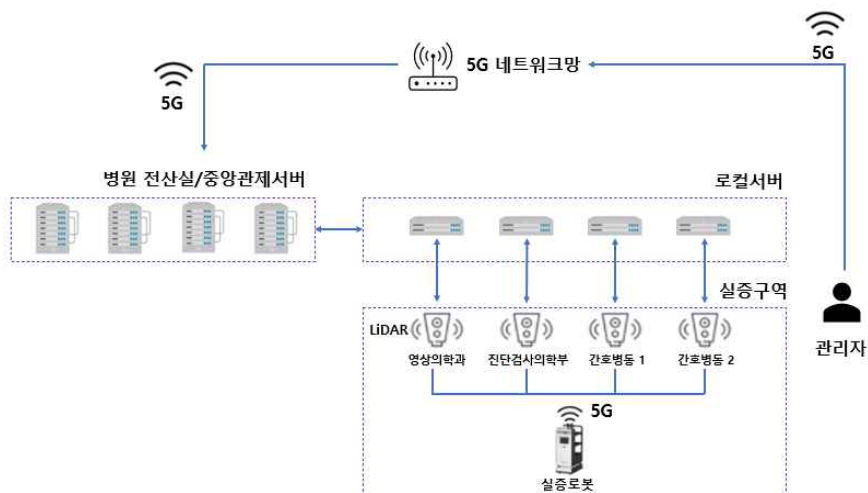


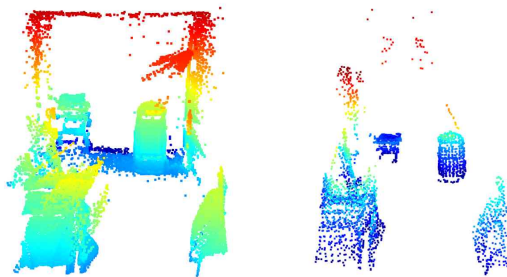
그림 1. 네트워크 구성도 (단독 폐쇄망)

Fig. 1. Server network architecture diagram (independent Private Network)

병원 내부 실증구역에는 라이다 센서를 설치하여 3D 영상을 수집하는데, 음영 지역을 최소화하기 위하여 구역에 따라 최대 11대의 라이다가 설치되었다. 라이다 센서로부터 수집한 Raw 데이터를 처리하기 위하여 로컬 서버를 구역별로 구축하였다. 로컬 서버는 데이터 전처리, 월드 정합, 인공지능 객체 인식 등의 작업을 수행하고, 정보를 중앙관제 서버로 전송하는 역할을 수행한다.

## 2.2 지능형 로봇 주행 관제 시스템 로컬 서버

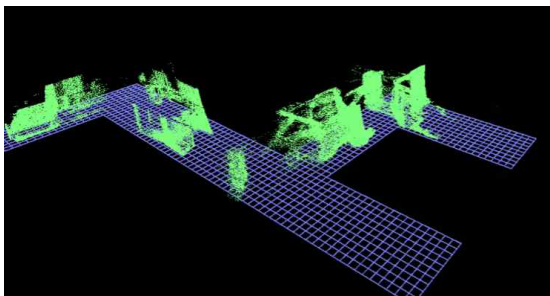
로컬 서버는 중앙보훈병원의 4개 구역(영상의학과, 간호병동 2개 구역, 진단검사의학과)에 설치되었으며, 구역에 설치된 다수의 라이다 센서에 접속하여 5 FPS로 포인트 클라우드 형식의 라이다 데이터를 수집한다. 포인트 클라우드는 사물의 외형만을 인식할 수 있어, RGB 이미지 센서를 사용할 때 발생할 수 있는 개인 정보 유출의 보안 문제를 해소할 수 있다. 수집한 Raw 데이터는 라이다 렌즈 왜곡 보정, 바닥, 벽면 포인트 제거 등 물체를 인식하기 용이하도록 전처리를 거친다.



(a) 전처리 전

(a) 전처리 후

3



(b) 3D 월드 재구성 예

그림 2. 전처리 및 3D 월드 재구성 예

Fig. 2. An example of pre-processing and 3D world registration

그리고 그림 2와 같이 다수의 라이다 센서로 기록된 포인트 클라우드를 하나의 3D 월드로 재구성하는데, 라이다 센서의 설치 위치를 고려하여 포인트 클라우드를 정합한다. 전처리 과정과 정합 과정의 예시를 그림 2에 도시하였다.

## 2.3 지능형 로봇 주행 관제 시스템 중앙 관제 서버

중앙 관제 서버는 로컬 서버로부터 개별 라이다 데이터, 딥러닝 객체 인식 추론 결과로 생성된 물체의 3차원 좌표 그리고 실증 로봇으로부터 5G 네트워크를 통해 상태 정보를 입력받는다. 이러한 정보들은 전산실에 저장되며, 이 정보를 가공하여 관제 대시 보드에 정보를 가시화한다.

그림 3 (a)는 관리자가 중앙 관제 서버에 접속하여 시스템을 확인하기 위한 인터페이스로 관제 대시 보드에서 로봇 작동현황과 과거 일자, 로봇의 위치, 로봇의 충전 상태, 로봇 충전 및 비상정지 위치 확인 등을 관제할 수 있다. 관제 시스템의 인터페이스와 사물과의 검출 예시를 실제 실증 구역 도면과 함께 그림 3에 표시하였다.



(a) 관제 시스템 인터페이스



(b) 물체 충돌 감지

그림 3. 관제 시스템 인터페이스 및 충돌 감지 예시

Fig. 3. Control System Interface and collision detection between a robot and objects

## 2.4 지능형 로봇 주행 관제 시스템 3D 객체 검출 알고리즘

인공지능을 이용하여 3D 객체를 인식하기 위해서는 알고리즘 학습을 위한 데이터가 필요하다. 이를 위하여 학습용 포인트 클라우드 데이터를 정제하고, 지도학습(Supervised Learning)을 위해 정답을 생성하는 주석화(Annotation)과정을 통해 표 1과 같이 학습데이터를 준비하였다.

표 1. 실험 데이터 세트

Table 1. Experimental data sets

총 데이터 개수	Train	Validation	Test
857	419	180	258

객체는 로봇, 사람, 병상, 휠체어의 4가지 클래스를 준비하였으며, 인공지능 알고리즘은 각각의 객체의 3차원 BBox(Bounding Box) 좌표를 검출하는 것을 목표로 하였다. 라이다 센서의 데이터가 5 FPS로 수집되고 있으므로, 실시간으로 물체를 검출하기 위해서는 빠른 추론 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 3D 객체 검출 알고리즘 중 실시간 검출 속도가 뛰어난 PointPillars[5]를 기반으로 객체 검출 알고리즘을 개발하였다. PointPillars는 포인트 클라우드 데이터를 BEV(Bird Eye View) 방향에서 인코딩하여 2D Convolution 연산을 수행하여 객체를 인식하는 속도를 개선한 모델이다.

객체 검출 성능은 3D AP(Average Precision)를 사용하였다. AP는 정밀도-재현율 곡선(Precision-Recall curve) 아래의 면적을 계산하여 모델이 얼마나 정확하게 객체를 감지했는지를 계산하는 평가지표로, 본 연구에서는 예측된 BBox와 정답 BBox의 겹치는 부피 영역이 50% 이상인 경우 올바르게 예측되었다고 판단하고 표 2와 같이 성능지표를 확인하였다.

표 2. 실험 결과

Table 2. Experimental results

	로봇	사람	병상	휠체어
3D AP	90.50	89.20	60.76	100

그림 5에 객체 인식 결과 예시를 도시하였다. 상

위 3가지 경우는 정상적으로 객체를 검출한 것을 보여주고 있다. 하지만 표 2에서처럼 병상의 객체 인식 성능이 다른 물체에 비해 낮게 도출되었는데, 이는 병상의 포인트 클라우드 분포가 병상을 바라보는 각도에 따라 포인트 클라우드의 분포 차이가 많기 때문으로 생각된다. 따라서 보다 많은 학습데이터를 구축할 필요가 있다. 그리고 객체들의 포인트 클라우드가 서로 근접해 있는 경우, 엉뚱한 객체로 인식하거나 노이즈 포인트들을 객체로 검출하는 점도 성능이 낮아진 원인으로 분석된다.

실제 클래스	예측 클래스
로봇	로봇
사람, 병상	사람, 병상
사람, 휠체어	사람, 휠체어
로봇	로봇, 병상

그림 5. 객체 인식 결과 예시

Fig. 5. Example of Results of Detection

## III. 결 론

본 논문에서는 병원 내 자율 주행 로봇 관제 시스템의 구축을 위하여, LiDAR 기반의 실시간 객체 탐지 시스템을 개발하였다. 개발 시스템은 LiDAR

데이터를 사용함으로써 개인 정보 유출을 방지하면서 효과적으로 객체의 충돌을 예측할 수 있다. 하지만 객체별로 인식률의 차이가 있어, 이를 개선하기 위해서는 데이터 전처리를 통해 포인트 클라우드의 품질을 향상하고, 근접해 있는 포인트 클라우드를 분할하여 인식할 수 있는 객체 검출 딥러닝 알고리즘의 고도화가 필요하다. 객체 인식 성능 개선은 지능형 자율 주행 로봇 관제시스템이 병원 내 효율적 업무수행에 도움을 주고, 감염병 발생확률을 최소화하는 등 병원 내 의료 환경을 개선하는 데에 기여할 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Ju Yong Yeop, Jin Hyung Park, "Effects on workers in hospital dedicated to infectious diseases from coronavirus disease 2019 outbreak: emotional change and stress comparison between occupations", Journal of The Korean Society of Emergency Medicine, vol. 32.2, pp. 120-133, April 2021.
- [2] Jihye Noh, Jinyeong Park, "Development of Evaluation Indicators for the Usability Testing of Medical Service Robots : Focused on Hospital Guidance and Kids Robots", Human Computer Iteration, vol. 2, pp. 437-442, 2023.
- [3] 조병래, "전방관측 영상 레이더와 영상형성 기술", 한국정보기술학회지, vol. 17.1, pp. 1-9, 2019.
- [4] 이동규, 이성훈, "5G 기반 자율 주행 기술의 응용 사례", 한국정보기술학회지, vol. 18.1, pp. 37-42, 2020.
- [5] Alex H. Lang and Oscar Beijbom, "PointPillars: Fast Encoders for Object Detection from Point Clouds", Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition, pp. 12697-12705, May 2019.