

# ROS 기반 지능형 무인 배송 로봇 시스템의 구현

## Implementation of ROS-Based Intelligent Unmanned Delivery Robot System

공 성 진\*, 이 원 창\*\*★

Seong-Jin Kong\*, Won-Chang Lee\*\*★

### Abstract

In this paper, we implement an unmanned delivery robot system with Robot Operating System(ROS)-based mobile manipulator, and introduce the technologies employed for the system implementation. The robot consists of a mobile robot capable of autonomous navigation inside the building using an elevator and a Selective Compliance Assembly Robot Arm(SCARA)-Type manipulator equipped with a vacuum pump. The robot can determine the position and orientation for picking up a package through image segmentation and corner detection using the camera on the manipulator. The proposed system has a user interface implemented to check the delivery status and determine the real-time location of the robot through a web server linked to the application and ROS, and recognizes the shipment and address at the delivery station through You Only Look Once(YOLO) and Optical Character Recognition(OCR). The effectiveness of the system is validated through delivery experiments conducted within a 4-story building.

### 요 약

본 논문에서는 Robot Operating System(ROS) 기반의 모바일 매니퓰레이터(Manipulator)를 이용한 무인 배송 로봇 시스템을 구현하고 시스템 구현을 위해 사용된 기술에 대해 소개한다. 로봇은 엘리베이터를 이용해 건물 내부에서 자율주행이 가능한 모바일 로봇과 진공 펌프를 부착한 Selective Compliance Assembly Robot Arm(SCARA)-Type의 매니퓰레이터로 구성된다. 로봇은 매니퓰레이터에 부착된 카메라를 이용하여 이미지 분할과 모서리 검출을 통해 배송물을 들어올리기 위한 위치와 자세를 결정할 수 있다. 제안된 시스템은 스마트폰 앱 및 ROS와 연동된 웹서버를 통해 배송 현황을 조회하고 로봇의 실시간 위치를 파악할 수 있도록 사용자 인터페이스를 가지고 있으며, You Only Look Once(YOLO)와 Optical Character Recognition(OCR)을 통해 배송 스테이션에서 배송물과 주소지를 인식한다. 아울러 4층 건물 내부에서 진행한 배송 실험을 통해 시스템의 유효성을 검증하였다.

*Key words : Mobile Manipulator, ROS, Autonomous Navigation, SCARA manipulator, Web server*

### 1. 서론

지난 몇 년 동안 전자상거래 산업이 빠른 속도로 성장

함으로 인해 택배 산업에서 배송 로봇의 도입도 가속화 되는 중이며, 관련 연구가 많이 이루어지고 있다[1]. 하지만 개발된 로봇들은 대부분 사람이 직접 물건을 로봇

\* Dept. of Intelligent Robot Engineering, Pukyong National University

\*\* Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University

★ Corresponding author

E-mail : wlee@pknu.ac.kr, Tel : +82-51-629-6219

※ Acknowledgment

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2023)

Manuscript received Dec. 14, 2023; revised Dec. 23, 2023; accepted Dec. 27, 2023.

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.

에게 주어야만 이동한다는 한계점을 가지고 있다. 또한 공동주택의 경우, 무인 택배 보관함이 있더라도 택배 공급량을 따라가지 못해 택배가 시설 바닥에 방치되어 분실과 도난 위험이 있다. 더불어 최근엔 이동 로봇이 공장 뿐만 아니라 병원, 쇼핑, 연구 센터와 같은 다양한 장소에서 운송이나 안내 등의 작업에 사용되고 있다[2]. 이러한 다층 건물에서 자율주행을 수행하기 위해서는 각 층의 mapping과 경로 계획, 엘리베이터 사용 등 많은 부분들이 고려되어야 할 것이다.

모바일 로봇은 배송을 위한 로봇 시스템에 많이 사용되어 왔다[3-5]. 하지만 대부분의 모바일 로봇을 이용한 배송 시스템은 실외를 대상으로 하거나, 실내의 한 층을 대상으로 하며 배송물을 싣거나 내리는 과정에서 사람의 개입이 필요하다. 본 시스템은 사람이 물건을 주어야 하는 한계점을 극복하기 위해 매니플레이터를 부착한 모바일 로봇으로 사람의 개입 없이 바닥에 있는 택배를 직접 들어 올리고 다층 건물 내에서 엘리베이터를 이용해 건물 내부를 자유롭게 이동하는 배송 시스템을 제안한다. 로봇은 층별로 작성된 실내 지도를 바탕으로 ROS의 map\_server를 이용해 원하는 층의 실내 지도로 변경하며 자율주행을 수행한다. 특히 로봇의 매니플레이터는 카메라를 이용하여 이미지 기반으로 배송물의 배치와 상관없이 이를 적재하기 위한 위치와 자세를 결정할 수 있다. 또한 로봇은 데이터베이스 및 웹서버 연동을 위해 LTE 라우터가 사용되었고 데이터베이스와 연동된 스마트폰 앱을 구현하여 사용자가 필요한 정보를 확인할 수 있도록 하였다.

## II. 본론

### 1. 시스템 개요

그림 1은 본 논문의 시스템 구성도를 보여준다. 모바일 로봇과 매니플레이터는 별도의 Micro Controller Unit(MCU)과 하나의 Single Board Computer(SBC)를 사용한다. 카메라와 SBC로 구성된 배송 스테이션은 건물 입구에 설치되어 배송물과 주소지를 인식한다. 배송물이라는 객체를 탐지하기 위해 객체 탐지 신경망 모델 중 FPS와 mAP가 준수하며 용량이 작은 YOLOv8-nano 모델을 사용하였으며 주소지 인식을 위해 커스텀 데이터로 학습된 OCR 모델을 사용하였다.

엘리베이터 이용을 위해 각 층의 엘리베이터 입구엔 조도 센서가 부착된 액추에이터와 SBC를 설치해 두었다. 로봇과 배송 스테이션, 엘리베이터의 액추에이터는

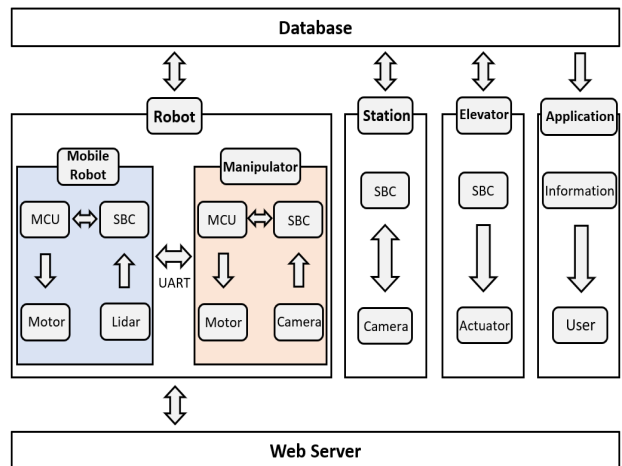


Fig. 1. System configuration.

그림 1. 시스템 구성도

데이터베이스를 이용해 서로의 상태를 업데이트한다. 로봇은 최대 2개의 배송물을 적재할 공간이 마련되어 있으며 외형은 그림 2와 같다.

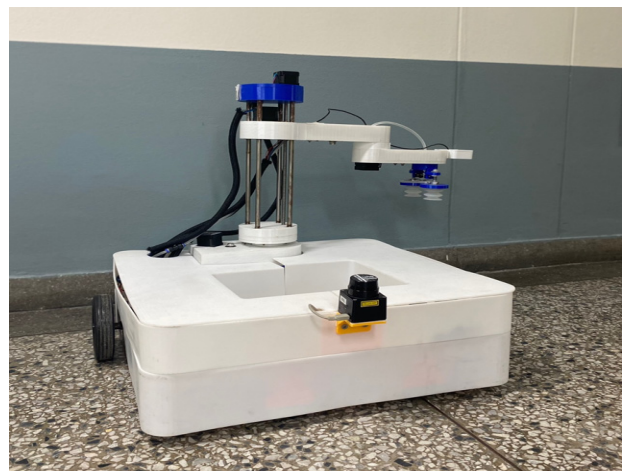


Fig. 2. Robot appearance.

그림 2. 로봇 외형

그림 3은 본 시스템의 동작 순서도이다. 1층의 배송 스테이션에서 택배가 인식되면 택배와 주소지 정보가 데이터베이스에 업데이트된다. 대기 중인 로봇은 배송해야 할 택배와 주소지가 업데이트되면 엘리베이터를 이용해 배송 스테이션으로 이동하며 부착된 액추에이터로 엘리베이터 버튼을 조작한다. 스테이션에 도착한 뒤 택배를 싣고 주소지에 맞게 배송하며 이 과정에서 필요에 따라 엘리베이터를 이용할 수 있다. 모든 배송이 끝나면 대기 장소로 돌아간다.

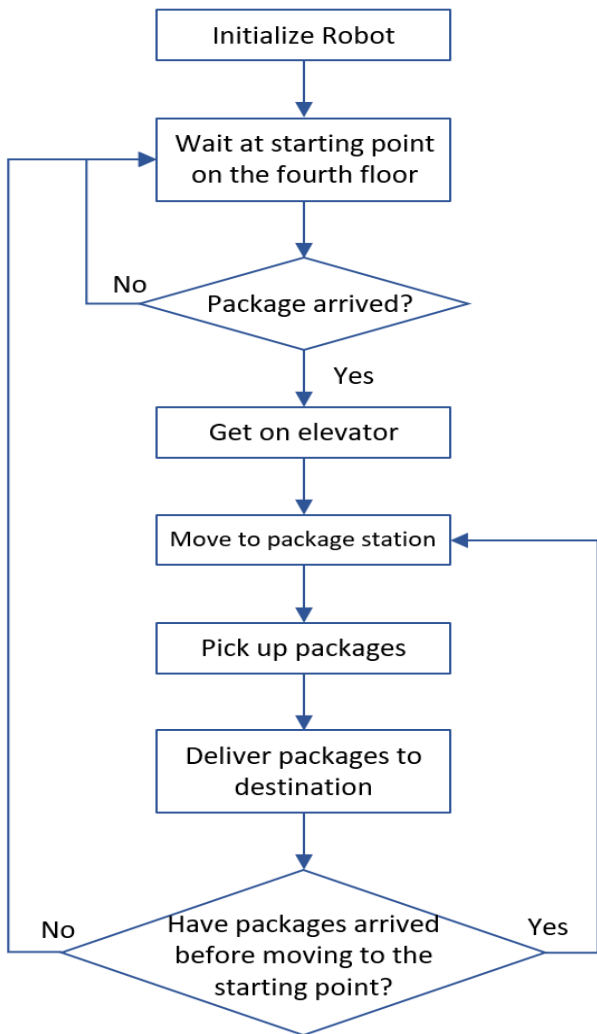


Fig. 3. System flowchart.

그림 3. 시스템 순서도

**2. 동시적 위치추정 및 지도작성**

주변 환경에 대한 지도를 작성하고 지도 내에서 동시에 위치를 파악하는 것은 Global Positioning System (GPS)와 같이 알려지지 않은 환경에서 이동 로봇이 핵심적으로 가져야 할 기술이다[6].

Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)은 센서를 이용해 특징점을 포함한 지도를 만들고 동시에 특징점을 통해 현재 위치를 추정하는 것을 말한다. 이때 센서는 주로 카메라 또는 Lidar 센서를 사용하며 정확도를 높이기 위해 두 가지 모두 사용하기도 한다.

로봇의 위치는 Inertial Measurement Unit(IMU) 센서와 엔코더(Encoder)를 통해 계산한 오도메트리(Odometry)를 이용해 현재 로봇의 대략적인 위치와 자세를 추정할 수 있는데 더 정확한 추정을 위해 센서 데이터와 결합하여 Extended Kalman Filter, Particle Filter와

같은 방법들을 사용한다[7]. 본 논문에서는 Lidar 센서와 ROS에서 제공하는 Gmapping package의 Particle Filter를 통해 SLAM을 수행했고 그림 4는 SLAM을 통해 작성한 건물의 1층과 4층 지도이다. 본 시스템은 배송 과정에서 엘리베이터를 이용해 층을 이동할 때 해당 층의 지도로 변경하도록 하였다.

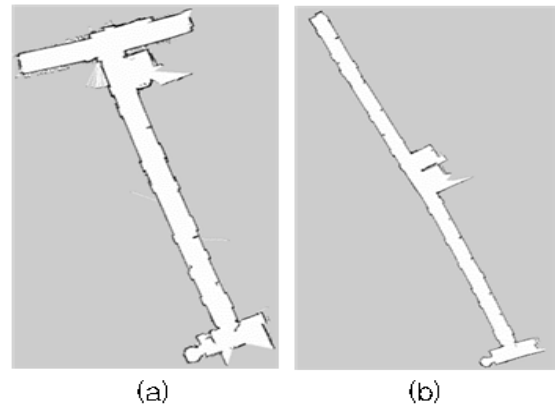


Fig. 4. Maps generated through SLAM.

그림 4. SLAM을 통해 작성한 지도

**3. 경로 탐색**

경로 탐색은 전체적인 경로 탐색과 지역적인 경로 탐색으로 나누어진다. 각각 global costmap과 local costmap을 사용하는데 costmap은 장애물이 있는 공간과 로봇이 충돌할 수 있는 공간, 자유 공간 등을 0~255 사이의 값을 가지는 grid cell로 나타낸 것이다. 전체적인 경로 탐색은 SLAM을 통해 작성한 static map으로부터 만들어진 global costmap을 사용하며 Dijkstra, A\*, Incremental A\*, D\* 알고리즘 등이 있다. 지역적인 경로 탐색은 로봇의 센서를 통해 만들어진 local costmap으로 주변 환경에 따라 지역 경로를 계속 수정한다. 지역적인 경로 탐색

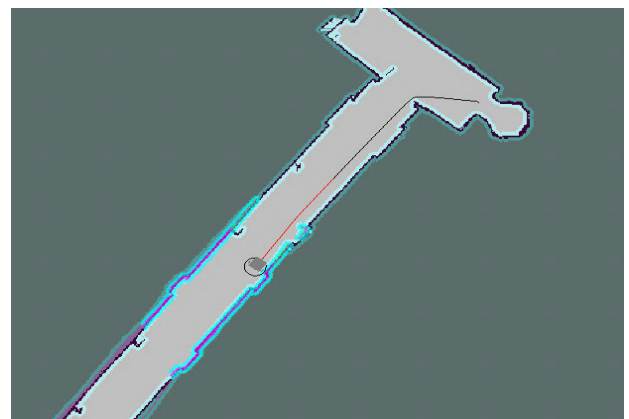


Fig. 5. ROS navigation path of mobile robot.

그림 5. 로봇의 이동 경로

알고리즘은 Dynamic Window Approach(DWA), Time Elastic Band(TEB) 알고리즘 등이 있다.

본 논문에서는 ROS에서 제공하는 global plan 알고리즘 중 Dijkstra 알고리즘과 local plan 알고리즘으로 DWA 알고리즘을 사용했다. 그림 5는 SLAM을 통해 작성된 지도를 바탕으로 로봇이 엘리베이터 탑승을 위해 목표지점으로 이동하는 모습이다. 비용지도와 최적경로가 생성된 것을 확인할 수 있다.

복도, 엘리베이터 출입문 등 협소한 공간에서 경로를 탐색할 경우, inflation\_radius, cost\_scaling\_factor 등 경로 탐색과 관련된 파라미터들을 조정하는 과정이 필요하다[8].

4. 모바일 매니플레이터

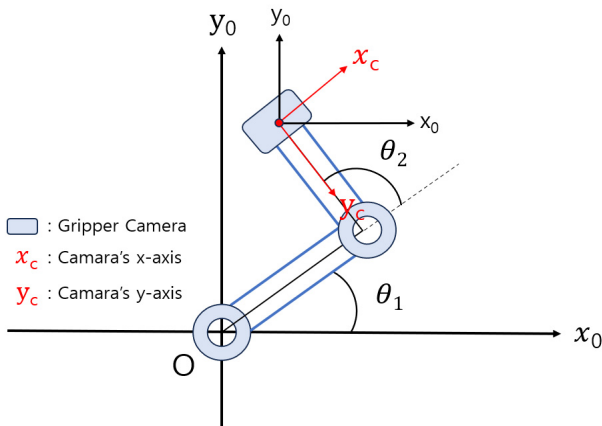


Fig. 6. Manipulator and camera coordinate system. 그림 6. 매니플레이터 및 카메라 좌표계

최근 산업 로봇에서 비전을 이용한 위치 제어가 널리 사용되어 기능을 향상시키는데 중요한 역할을 하고 있다 [9-10]. 본 시스템은 매니플레이터에 카메라를 부착하여 배송물의 중앙 위치를 추적하도록 했다. 이때 그림 6에서 볼 수 있듯이 카메라가 그리퍼에 부착되어 카메라 좌표계가 고정되어 있지 않고 매니플레이터의 이동에 따라 카메라의 좌표계도 같이 이동하게 된다. 이러한 경우 매니플레이터 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계를 모른다면 매니플레이터 좌표계를 기준으로 카메라에서 인식된 객체의 위치를 파악할 수 없다. 따라서 매니플레이터의 이동에 따른 카메라 좌표계와 매니플레이터의 고정 좌표계 사이의 관계를 계산하였고 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.  $x, y$ 는 매니플레이터의 고정 좌표계이며,  $x_c, y_c$ 는 카메라의 좌표계이다.  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 는 매니플레이터의 각 관절 값을 나타내고 2자유도 평면 매니플레이터의

역기구학을 통해 계산할 수 있다. 식(1)을 통해 카메라 상에서 배송물의 중앙 픽셀 좌표를 매니플레이터의 고정 좌표계 기준으로 위치를 계산하여 배송물의 중앙 위치를 추적하도록 하였으며 그림 7은 식(1)을 이용해 배송물의 중앙 위치를 추적한 결과를 보여준다. YOLO를 이용한 객체 인식과 경계 상자를 이용해 배송물의 중앙 픽셀 좌표를 계산하였으며. 그림 7 상단의 추적 결과를 보면 416×416 크기의 이미지에서 배송물의 중앙 위치가 (209,210)으로 그리퍼에 부착된 카메라의 중앙 픽셀인 (208,208)과 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_1 + \theta_2) & -\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ -\cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

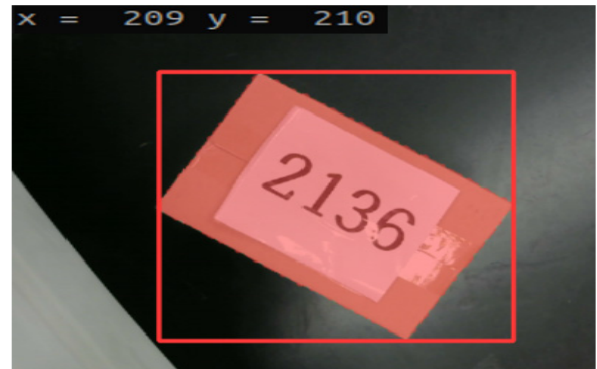


Fig. 7. Object recognition and center tracking. 그림 7. 객체 인식 및 중심 추적

중앙 위치를 추적한 후 로봇의 하드웨어에 맞게 배송물을 적재하기 위해 이미지 분할과 Harris Corner Detection을 이용하여 방향을 결정하였다. Harris Corner Detection은 특정 픽셀을 기준으로 일정 영역을 설정하

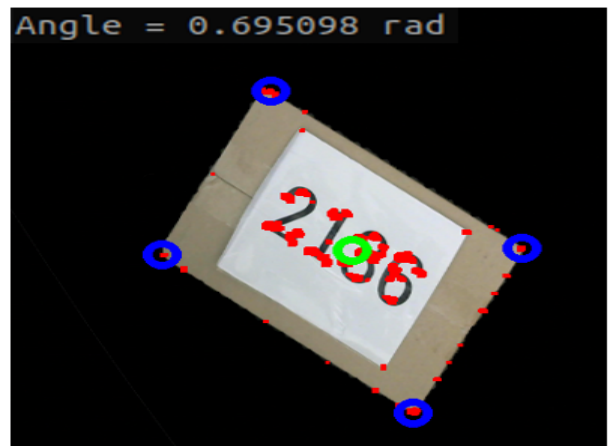


Fig. 8. Corner detection of masked image. 그림 8. 마스킹한 이미지의 모서리 검출

는데 설정된 영역을  $x, y$ 축 방향으로 이동하며, 픽셀 값의 gradient를 계산하여 행렬로 나타낸다[11]. 그 후 행렬의 고윳값 분해를 통해 얻은 고유벡터로 모서리를 판단한다.

이미지 분할의 경우 1000장의 이미지에 대해 회전, 밝기, 채도 등을 변화시키는 증강 기법을 적용하였으며 YOLOv5를 이용하였다.

본 논문에서는 이미지 분할을 수행한 후, 분할된 영역을 마스킹한 이미지에 대해서 모서리를 검출하여 방향을 결정했다. 그림 8은 분할된 영역을 마스킹한 영역에서 검출된 모서리와 이를 통해 배송물을 들어올리기 위한 그리퍼의 회전 각도를 계산한 결과이다.

본 시스템에서 사용한 모바일 로봇은 차동 이륜 모델이다. 차동 이륜 로봇의 기구학은 식 (2)~(4)와 같이 표현된다.  $x, y, \theta$ 는 로봇의 위치와 yaw 각도를 나타내고  $R, L$ 은 바퀴의 반지름과 휠 베이스 간격을 나타낸다.  $w_r, w_l$ 은 바퀴의 각속도,  $V_c, w$ 는 로봇 중심 선속도와 각속도를 의미한다.

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{R}{2}(w_r + w_l)\cos\theta \\ \dot{y} = \frac{R}{2}(w_r + w_l)\sin\theta \\ \dot{\theta} = \frac{R}{L}(w_r - w_l) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{x} = V_c\cos\theta \\ \dot{y} = V_c\sin\theta \\ \dot{\theta} = w \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} w_r = \frac{2V_c + wL}{2R} \\ w_l = \frac{2V_c - wL}{2R} \end{cases} \quad (4)$$

## 5. 통합 웹서버

본 논문에서는 main PC와 SBC 모두 부하를 줄이고 여러 대의 로봇을 운용할 수 있도록 로봇에서 자율적으로 데이터를 처리하고, 모든 데이터는 웹서버로 보내도록 했다. 웹서버는 ROS의 rosbridge package를 이용하여 ROS와 통신한다. rosbridge는 client가 웹서버에서 topic을 publish 및 subscribe 가능하게 하며 JSON 형식의 메시지를 TCP 소켓 및 웹 소켓을 통해 전송한다[12].

그 결과 그림 9와 같이 어디서든 웹서버에 접속해 로봇의 현재 위치를 파악하고 이동 경로를 확인할 수 있다. 또한 사용자가 목적지를 설정할 수 있으며 필요한 경우 실시간으로 제어할 수 있다.

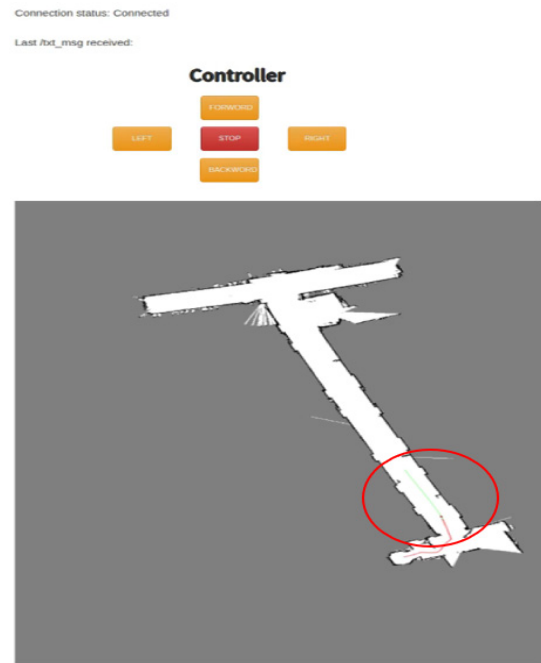


Fig. 9. Navigation path of robot on web server.  
그림 9. 웹서버 상에서의 로봇 이동 경로

## 6. Experiment and Results

본 시스템의 유효성을 검증하기 위해 1층 배송 스테이션에 각 주소지를 가진 두 개의 배송물을 올려두고 로봇이 자율적으로 해당 호실에 배송하는 것을 실험하였다. 또한 배송 과정에서 스마트폰 앱을 통해 실시간 배송 현황을 확인하였다. 실험은 4층 건물에서 진행했으며 배송 과정에서 엘리베이터를 이용해 층간 이동을 하도록 배송물 두 개의 주소지를 1층의 특정 호실과 4층의 특정 호실로 설정하였다.

### (1) 배송 실험 결과

1층 건물 입구에 위치한 배송 스테이션에서 배송물이 인식되면 초기 위치에서 대기 중인 로봇이 출발한다. 이때 1층 스테이션으로 이동하기 위해 엘리베이터를 탑승하며 배송 스테이션에 도착한 로봇은 배송물을 적재한다. 그림 10은 배송물이 도착했을 때 로봇이 배송 스테이션으로 이동해 적재하는 과정이며 시계방향 (a)~(d) 순서로 과정을 나타낸다. 로봇은 배송물을 적재한 후 주소지의 거리가 가까운 순서로 목적지 경로를 설정하여 이동하며 이번 실험의 설정처럼 두 목적지가 서로 다른 층에 있는 경우, 엘리베이터를 이용해 목적지에 해당하는 층으로 이동한다. 그림 11은 로봇이 배송물을 적재한 후 각 목적지로 이동하여 배송하는 과정이며 시계방향 (a)~(e) 순서로 과정을 나타낸다.

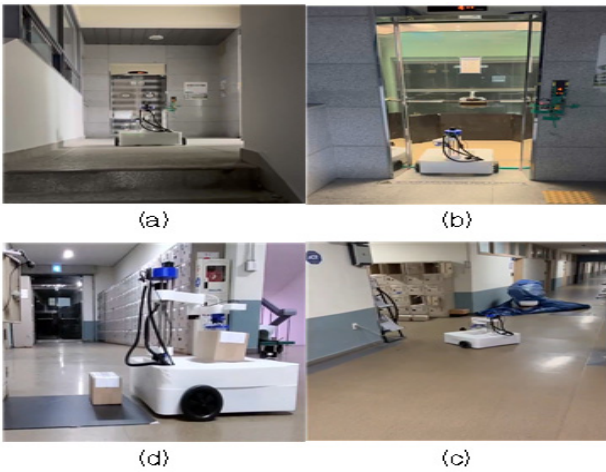


Fig. 10. The movement process of robot for loading package.

그림 10. 배송물 적재를 위한 로봇의 이동과정

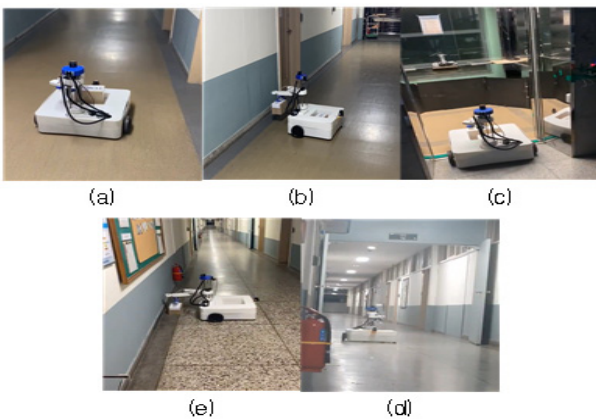


Fig. 11. The movement process of robot for delivery.

그림 11. 배송을 위한 로봇의 이동과정

(2) 스마트폰 앱

배송 스테이션은 배송물이 인식되면 배송물의 정보를 데이터베이스에 업데이트하며 로봇은 배송물을 적재하기 전후, 이동 및 목적지 도착에 따라 데이터베이스에 해당 정보를 업데이트한다. 스마트폰 앱은 데이터베이스와 연동되어 로봇과 배송 스테이션에서 업데이트한 정보들을 바탕으로 사용자에게 배송 조회 기능을 제공한다. 또한 로봇은 목적지에 배송물을 내려놓은 뒤, 해당 배송물을 촬영하여 데이터베이스에 업로드하는데, 사용자는 스마트폰 앱을 통해 배송이 완료된 사진을 확인할 수 있다. 그림 12는 스마트폰 앱을 접속했을 때의 초기 화면에서 배송 조회 버튼을 클릭하고 조회하고자 하는 주소지를 입력하여 현재 배송 현황을 확인하는 과정이다. 또한 그림 13과 같이 조회하고자 하는 주소지를 입력하여 배송이 완료된 사진을 확인할 수 있다.

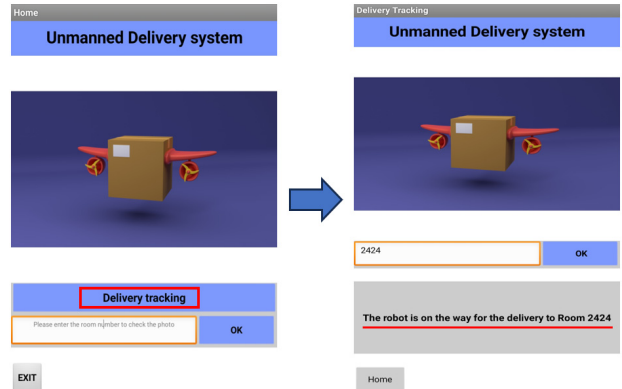


Fig. 12. Delivery tracking in smart phone application.

그림 12. 스마트폰 앱의 배송 조회

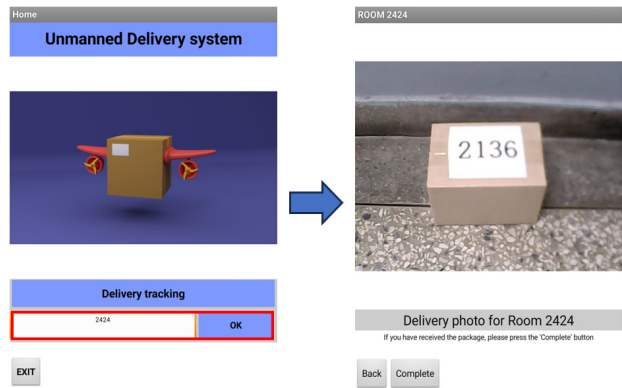


Fig. 13. Package photos in smart phone application.

그림 13. 스마트폰 앱의 배송 사진 조회

III. 결론

본 논문에서는 모바일 로봇과 진공 그리퍼를 부착한 매니플레이터를 이용해 사람의 개입 없이 택배를 배송하는 무인 배송 로봇 시스템을 구현하였다. 웹서버를 통해 로봇의 실시간 상황 파악과 제어가 가능하므로 편의성을 제공하고 시스템 동작에 필요한 자원을 줄일 수 있으며 데이터베이스와 스마트폰 앱을 연동하여 배송과 상태를 조회할 수 있다.

본 시스템은 택배 산업의 규모가 커짐에 따라 택배의 분실, 도난과 같은 사고를 예방하는 동시에 택배를 직접 옮기기 어려운 환경에서도 용이하게 사용될 것으로 기대 된다.

References

[1] Srinivas, Sharan, Surya Ramachandiran, and Suchithra Rajendran, "Autonomous robot-driven

deliveries: A review of recent developments and future directions,” *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 165, (2022): 102834. DOI: 10.1016/j.tre.2022.102834

[2] Abdulla, A. A., Liu, H., Stoll, N., & Thurow, K., “An automated elevator management and multi-floor estimation for indoor mobile robot transportation based on a pressure sensor,” *2016 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME)*, IEEE, 2016.

[3] Siao, Cheng-Yan, Jhe-Wei Lin, and Rong-Guey Chang, “The design and implementation of a delivery system,” *2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*, IEEE, 2020.  
DOI: 10.1109/ECICE50847.2020.9301993

[4] Gao, K., Xin, J., Cheng, H., Liu, D., & Li, J., “Multi-mobile robot autonomous navigation system for intelligent logistics,” *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, IEEE, 2018.  
DOI: 10.1109/CAC.2018.8623343

[5] Lee, D., Kang, G., Kim, B., & Shim, D. H., “Assistive delivery robot application for real-world postal services,” *IEEE Access* 9 (2021): 141981-141998. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3120618

[6] Grisetti, G., Kümmerle, R., Stachniss, C., & Burgard, W., “A tutorial on graph-based SLAM,” *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2010, 2.4: 31-43. DOI: 10.1109/MITS.2010.939925

[7] L. Zhi, M. Xuesong, “Navigation and control system of mobile robot based on ROS,” *2018 IEEE 3<sup>rd</sup> Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, IEEE, pp.368-372, 2018.  
DOI: 10.1109/IAEAC.2018.8577901

[8] K. Zheng, “Ros navigation tuning guide,” *Robot Operating System (ROS) The Complete Reference (Volume 6)*, Springer, pp.197-226. 2021.  
DOI:10.1007/978-3-030-75472-3\_6

[9] Chang, Wei-Che, Ming-Yang Cheng, and Hong-Jin Tsai., “Image feature command generation of contour following tasks for SCARA robots employing Image-Based Visual Servoing-A PH-spline

approach,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 44 (2017): 57-66.

DOI:10.1016/j.rcim.2016.08.002

[10] POP, Cristian; GRIGORESCU, Sanda M.; DAVIDESCU, Arjana., “Colored object detection algorithm for visual-servoing application,” *In 2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, IEEE, 2012. pp.1539-1544.  
DOI:10.1109/OPTIM.2012.6231887

[11] MALIK, Jyoti; DAHIYA, Ratna; SAINARAYANAN, G., “Harris operator corner detection using sliding window method”, *International Journal of Computer Applications*, 2011, 22.1: 28-37.  
DOI:10.5120/2546-3489

DOI:10.5120/2546-3489

[12] Ma, X., Fang, F., Qian, K., & Liang, C., “Networked robot systems for indoor service enhanced via ROS middleware,” *In 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, IEEE, 2018. pp.852-857.  
DOI: 10.1109/ICIEA.2018.8397832

## BIOGRAPHY

### Seong-Jin Kong (Member)



2023 : BS degree in Electronic Engineering, Pukyong National University.

2023~present : MS degree in Intelligent Robot Engineering, Pukyong National University.

### Won-Chang Lee (Member)



1983 : BS degree in Instrumentation and Control Engineering, Seoul National University.

1985 : MS degree in Electrical and Electronic Engineering, KAIST.

1992 : PhD degree in Electronic and Electrical Engineering, POSTECH.

1993~present : Professor, Pukyong National University