

실내 환경에서 QR 코드 기반 목적지 자율주행을 위한 운반 로봇에 관한 연구

¹박세준

A Study on Transport Robot for Autonomous Driving to a Destination Based on QR Code in an Indoor Environment

¹*Se-Jun Park

요 약

본 논문은 실내 환경에서 QR 코드를 이용하여 목적지 자율 주행이 가능한 운반 로봇에 관한 연구이다. 운반 로봇은 QR 코드 인식을 위한 카메라와 좌우 벽과의 거리를 감지하여 로봇이 이동 중 일정한 간격을 유지할 수 있도록 라이다 센서가 부착하여 설계 제작하였다. 운반 로봇의 위치 정보는 QR 코드 영상을 Lanczos resampling 보간법으로 확대한 후 Otsu Algorithm 으로 이진화하고, Zbar 라이브러리를 활용하여 검출 및 해석을 수행하였다.

QR 코드 인식은 운반 로봇의 카메라 위치와 QR 코드 높이가 192cm 로 고정된 상태에서 QR 코드의 크기와 운반 로봇의 주행 속도를 변화시키면서 실험을 수행하였으며, QR 코드 크기가 9cm × 9cm 일 때 99.7%, 운반 로봇의 주행 속도가 약 0.5m/s 이하 일 때 거의 100%의 인식률을 보여주었다. QR 코드 인식율을 바탕으로 목적지 자율주행을 위해 장애물이 없는 상태에서 목적지가 직진만 있는 경우와 목적지가 직진과 회전이 있는 경우에 대해 실험을 수행하였다. 목적지가 직진만 있는 경우에는 위치 보정이 거의 필요 없어 목적지에 빠르게 도달할 수 있었으나, 목적지에 회전이 포함된 경우에는 위치 보정이 필요하여 목적지에 도착하는 시간이 상대적으로 지연되었다. 실험 결과, 운반 로봇이 주행 중 약간의 위치 오차가 발생하였으나 비교적 정확하게 목적지에 도달함을 알 수 있었으며, QR 코드 기반 목적지 자율주행 운반 로봇의 적용 가능성을 확인하였다.

Abstract

This paper is a study on a transport robot capable of autonomously driving to a destination using a QR code in an indoor environment. The transport robot was designed and manufactured by attaching a lidar sensor so that the robot can maintain a certain distance during movement by detecting the distance between the camera for recognizing the QR code and the left and right walls. For the location information of the delivery robot, the QR code image was enlarged with Lanczos resampling interpolation, then binarized with Otsu Algorithm, and detection and analysis were performed using the Zbar library.

The QR code recognition experiment was performed while changing the size of the QR code and the traveling speed of the transport robot while the camera position of the transport robot and the height of the QR code were fixed at 192cm. When the QR code size was 9cm × 9cm The recognition rate was 99.7% and almost 100% when the traveling speed of the transport robot was less than about 0.5m/s. Based on the QR code recognition rate, an experiment was conducted on the case where the destination is only going straight and the destination is going straight and turning in the absence of obstacles for autonomous driving to the destination. When the destination was only going straight, it was possible to reach the destination quickly because there was little need for position correction. However, when the destination included a turn, the time to arrive at the destination was relatively delayed due to the need for position correction.

As a result of the experiment, it was found that the delivery robot arrived at the destination relatively accurately, although a slight positional error occurred while driving, and the applicability of the QR code-based destination self-driving delivery robot was confirmed.

Keywords: QR code, transport robot, Lanczos resampling, lidar sensors, Zbar library

¹ 목원대학교 로봇학과 조교수 (sjpark@mokwon.ac.kr)

I. 서론

최근 들어 인지형 로봇 분야의 기술적 발전으로 위치와 공간을 인식하고 이를 기반으로 로봇의 위치 인식 기술이 주목받고 있다[1].

실내환경에서 로봇이 이동하기 위해서는 실내 공간상에서 로봇이 어떤 위치에 있는지가 중요하다. 어떤 센서시스템, 어떤 알고리즘을 사용하는가에 따라 미지의 경로를 로봇이 인식하여 움직일 수 있고, 로봇의 성능이 좌우될 수 있다[2][3].

로봇의 위치가 정확히 평가되지 않는다면 임무를 수행하지 못하는 경우가 발생한다. 일반적으로 로봇 바퀴에 장착된 엔코더 등의 정보로부터 위치를 계산하지만 바퀴의 불균형, 지면과의 미끄러짐 등으로 인한 오차가 크게 발생할 수 있다. 그러므로, 로봇의 위치 정보를 제공하는 다양한 센서들을 사용하여 로봇의 위치를 정확히 인식해야 한다. 그러나, 위치 센서 역시 여러 가지 오차 요인으로 인해 정확한 위치를 제공하지 못한다. 이 문제를 해결하기 위해 엔코더에 의한 위치 정보와 센서로부터의 위치 정보를 통계학적으로 융합하여 최적의 로봇 위치를 평가하는 과정이 필요하다[4][5][6].

또한, 자율주행 로봇을 제어하기 위해서는 실내에서 오차가 많은 GPS 를 사용하지 않고 카메라, 초음파 센서, 라이다 센서와 같은 여러 가지 센서를 통합하여 정확한 위치를 알아내는 것이 중요하다[7][8]. SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)은 미지의 환경에서 모바일 로봇이 자율적으로 움직일 수 있도록 하는 기술이다. 특히 Visual SLAM 은카메라의 움직임을 추정하고 일련의 지도를 생성하는데 사용한다[9][10].

본 연구에서는 SLAM 기술을 사용하지 않고 자율주행이 가능하도록 라이다 센서와 카메라를 사용하여 목적지 자율주행을 위한 운반 로봇을 설계 제작하였다. 이동 중 카메라로 QR 코드 영상을 입력 받아 QR 코드 위치 정보에 따라 운반 로봇의 위치를 보정하고 QR 코드 해독 데이터와 위치 데이터를 로봇으로 전송하여 운반 로봇의 현재 위치를 파악하고 목적지 자율주행 실험을 수행하여 라이다 센서와 QR 코드를 이용한 실내 운반 로봇의 적용 가능성을 확인한다.

II. 운반 로봇

라이다 센서와 QR 코드를 이용한 운반 로봇은 카메라로 QR 코드를 인식할 수 있는 Top Plate(a), 구동바퀴를 부착하여 움직일 수 있는 Bottom Plate(b), 이동 중 장애물 회피가 가능한 Front Plate(c) 그리고 좌우 벽과의 거리를 감지하여 로봇이 이동 중 일정한 간격(중앙에 위치)을 유지할 수 있도록 라이다 센서가 부착된 Side Plate(d)로 설계 제작하였다. 그림 1 은 운반 로봇의 설계도를 보여준다.

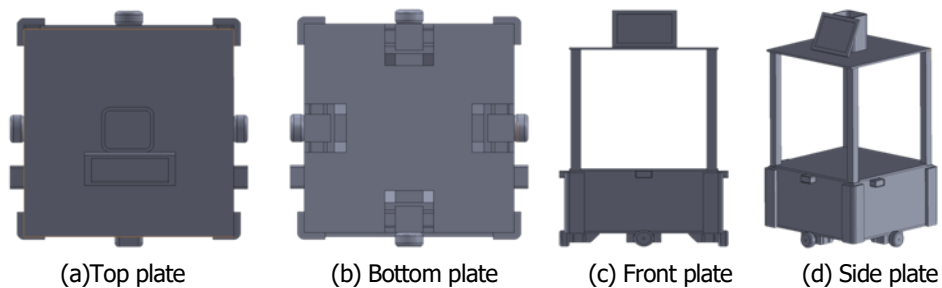


Figure 1. Design of driving transport robot

그림 1. 운반 로봇의 설계

운반 로봇은 장애물 감지와 좌우 벽과의 거리를 감지하기 위해 3 개의 라이다 센서를 사용하기 때문에 3 개의 시리얼 통신이 가능하고 연산이 빠른 STM32F103CB 보드를 사용하였다. 운반 로봇이 이동 중 왼쪽 벽과 오른쪽 벽 거리를 측정하여 로봇이 중앙에 위치하도록 TFMini Plus 라이

다 센서를 사용하였으며, 최대 측정 거리는 12m 이고 시야각은 3.6° 이다. 표 1 은 TFMini Plus 라이다 센서의 주요 사양을 보여준다.

Table 1. Main specifications of TFMini Plus LiDAR Sensor
표 1. TFMini Plus 라이다 센서의 주요 사양

Item	Specification
Operating Range	0.1m~12m
Frame Rate	1~1000Hz
Distance Resolution	1cm
Weight	12g
FOV	3.6°
Communication Interface	UART, I/O

또한, 운반 로봇을 목적에 맞게 다양한 각도와 이동범위를 구현하기 위해 MDD10A 모터드라이버를 2 개와 HM-400mg DC 모터 4 개를 사용하여 로봇에 운반물품이 적재되었을 때 로봇이 받는 하중을 분산시켜 충분한 힘으로 이동이 가능하도록 반영하였다. MDD10A 모터드라이버는 12V 전압을 사용하여 8 개 모터의 연속 전류를 사용해도 안정적인 출력을 얻을 수 있다. 그림 2 는 목적지 자율주행을 위해 실제 제작한 운반 로봇을 보여준다.



Figure 2. Transport robot
그림 2. 운반 로봇

운반 로봇은 본체, 주행부, 센서부, 통신부 그리고 전원부로 구성되어 있다. 로봇의 크기는 34cm × 34cm × 58cm 이고, 최대 21.952L 용량과 3Kg 의 최대 중량을 적재할 수 있다. 주행과 모든 방향으로 이동이 가능하도록 4 개의 DC 모터와 움직임이 자유로운 옴니휠을 사용하였다. 옴니휠은 다양한 조향각을 갖기 때문에 운반 로봇이 모든 방향으로 회전 없이 자유롭게 움직일 수 있으며 협소한 공간에서도 쉽게 움직임이 가능하다. 표 2 는 목적지 자율주행 운반 로봇의 주요 사양을 보여준다.

Table 2. Main specification of transport robot
표 2. 운반 로봇의 주요 사양

Item		Specification
Main Body	Robot Size	34cm×34cm×58cm
	Box Size	28cm×28cm×28cm
	Maximum Load Capacity	21.952L
	Robot Weight	2kg
	Maximum Load Weight	3kg
Driving Part	Driving Style	4 DC motors, 4 Omni wheels
	Maximum Speed	1.32m/s
Sensors Part	Wall Detection	Lidar Sensor
	Obstacle Detection	
Communication Part	Communication	Serial
Power Supply	PC Power	PD Auxiliary Battery 20000mAh
	Robot Power	Li-ion Battery 11.1V 5000mAh

III. 영상인식시스템

3.1 QR 코드 인식

QR 코드는 흑백 격자무늬 패턴으로 정보를 나타내는 매트릭스 형식의 2 차원 바코드로 일반 바코드는 한쪽으로 숫자 정보가 저장되지만, QR 코드는 2 차원 영역에 데이터 저장 구조로 되어 있어 숫자 외에 알파벳과 한자 등의 문자 데이터를 저장할 수 있다[11][12]. 그러므로, QR 코드가 부착되어 있는 방향과 상관없이 위치 정보와 정렬 정보를 이용하여 QR 코드를 올바르게 해석할 수 있다. 그림 3 은 QR 코드의 위치 정보와 정렬 정보를 보여준다.



Figure 3. QR code area information
그림 3. QR 코드 영역 정보

본 논문에서는 QR 코드를 더 정밀하게 인식하기 위해 Full HD 1080P/60FPS Logitech Stream Cam 을 사용하였다. 표 3 은 Logitech Stream Cam 의 주요 사양을 보여준다.

Table 3. Main specifications of Logitech Stream Cam
표 3. Logitech Stream Cam 주요 사양

Item	Specification
Resolution	1080p/60fps
Viewing Angle	78°
Connection	USB-C3.1
Focus	Auto Focus (More 10Cm)

QR 코드를 처리하기 위해 아두이노 레오나르도가 기본 탑재되어 있어 로봇 제어가 용이한 LattePanda Delta 초소형 미니 PC 를 사용하였다. 그림 4 는 QR 코드 검출 및 데이터를 해석하는 순서도를 보여준다.

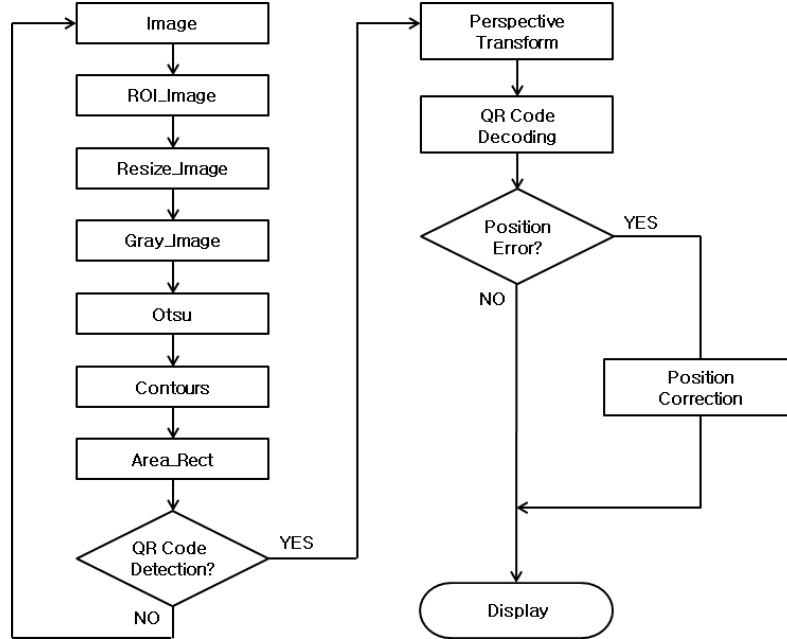


Figure 4. Flowchart of QR code detection and data analysis

그림 4. QR 코드 검출 및 데이터 해석 순서도

QR 코드를 검출하기 위해 먼저, 카메라에 들어온 영상 픽셀 데이터를 Matrix 로 저장한다. 저장된 데이터의 관심 영역(ROI: Region of Interest)을 지정하고, QR 코드 픽셀을 최대한 선명하게 확대하기 위해 Lanczos resampling 보간법을 이용하여 영상을 확대한다[13]. Lanczos resampling 보간법은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(x, y) = \sum_{i=\lfloor x \rfloor - a + 1}^{\lfloor x \rfloor + a} \sum_{j=\lfloor y \rfloor - a + 1}^{\lfloor y \rfloor + a} s_{ij} L(x - i) L(y - j) \quad (1)$$

$$\text{where, } L(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = 0 \\ \frac{\text{asin}(\pi x) \sin(\frac{\pi x}{a})}{\pi^2 x^2} & \text{if } (-a \leq x < a \text{ and } x \neq 0) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, L(y) = \begin{cases} 1 & \text{if } y = 0 \\ \frac{\text{asin}(\pi y) \sin(\frac{\pi y}{a})}{\pi^2 y^2} & \text{if } (-a \leq y < a \text{ and } y \neq 0) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

샘플 s_{ij} 가 있는 2 차원 신호가 주어지면, 정수 i, j 값에 대해 임의의 실수 x, y 에서 보간된 값 $S(x, y)$ 는 Lanczos resampling 을 사용하여 해당 샘플의 이산 컨볼루션에 의해 얻어진다. 여기서, a 는 커널 크기(kernel size)로서 양의 정수 값이며, $\lfloor x \rfloor$ 는 바닥 함수(floor function)를 나타낸다.

Lanczos resampling 보간법을 이용하여 얻어낸 확대 영상을 Gray Image 로 변환한 후 Otsu Algorithm 을 이용하여 이진화하여 QR 코드의 위치 정보를 찾아낸다[14][15]. 찾아낸 QR 코드의 위치 정보는 식(2)와 같이 표현할 수 있다[16].

$$\begin{bmatrix} \omega x' \\ \omega y' \\ \omega \end{bmatrix} = M_p \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)를 x', y' 에 관한 식으로 표현하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}x' &= ax + by + c - gxx' - hx'y \\ y' &= dx + ey + f - gxy' - hy'y\end{aligned}\quad (3)$$

여기서, x, y 는 변환하기 전 원본 이미지 픽셀 좌표를 의미하며, x', y' 는 변환 후 결과 이미지 픽셀 좌표를 의미한다. 변환 후 픽셀 좌표를 계산하기 위해서는 8개의 미지수 a, b, c, d, e, f, g, h 의 값을 알아야 한다. 8개의 미지수는 투영할 면의 네 개의 좌표를 이용하여 얻을 수 있다. 투영할 면의 네 개의 좌표는 곡면 추정 방법을 이용하여 길이 변환으로 얻을 수 있다[14]. 마지막으로, Zbar 라이브러리를 이용하여 QR 코드 데이터를 해독할 수 있다[17]. 식(4)는 투영 행렬(Projection Matrix)을 보여준다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_1 & -x_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y_1 & -y_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x_2 & -x_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2y_2 & -y_2y_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x_3 & -x_3y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y_3 & -y_3y_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x_4 & -x_4y_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y_4 & -y_4y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix}\quad (4)$$

3.2 운반 로봇의 위치 보정

QR 코드를 인식한 후, 해석하여 만들어진 데이터는 시리얼을 통하여 STM32F103CB 칩으로 전송된다. 같은 데이터를 여러 번 전송하면 오류가 발생할 수 있으므로 반복되는 QR 코드는 1번만 전송한다. QR 코드가 감지되었을 때, QR 코드 중앙 위치가 화면 중앙 위치에서 많이 벗어나면 로봇이 좌우로 움직이면서 위치를 보정한다. QR 코드 중앙 위치는 식(5)를 이용하여 구할 수 있으며, 영상 화면의 중앙 위치는 식(6)을 이용하여 구할 수 있다. 식(5)에서 x_1, x_2, x_3, x_4 와 y_1, y_2, y_3, y_4 는 QR 코드를 검출한 4개의 x, y 좌표를 의미하며, 식(6)에서 $Length_x$ 와 $Length_y$ 는 화면 x 축 길이와 y 축 길이를 의미한다.

$$C_{qx} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4}, C_{qy} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}\quad (5)$$

$$C_{mx} = \frac{Length_x}{2}, C_{my} = \frac{Length_y}{2}\quad (6)$$

식(5)와 식(6)에서 QR 코드의 중앙점과 현재 카메라의 중앙점의 오차는 식(7)과 같이 구할 수 있으며, 식(7)을 이용하여 로봇의 위치를 보정한다.

$$C = C_q - C_m\quad (7)$$

IV. 실험 및 결과고찰

4.1 QR 코드 인식율

QR 코드 인식율에 대한 실험을 위해 바닥면과 천장과의 높이가 일정한 학교 복도를 사용하였다. 복도의 폭은 240cm 이고, 바닥과 천장의 높이는 250cm이다. 바닥면에 놓인 운반 로봇의 카메라 위치와 복도 천장에 부착된 QR 코드 사이의 높이는 192cm로 고정된 상태에서 QR 코드 크기 변화에 따른 인식률과 주행 속도 변화에 따른 인식률 2 가지 방법으로 실험을 수행하였다.

첫 번째, QR 코드 크기를 5cm×5cm에서 9cm×9cm로 1cm×1cm씩 증가시키면서 각각 1,000장의 사진으로 실험을 수행한 결과로 QR 코드의 크기가 6cm×6cm에서는 인식률이 대략 35%,

7cm×7cm에서는 인식률이 대략 70%, QR 코드의 크기가 8cm×8cm 이상이면 98.8%로 거의 100% 인식하였다. 그림 5는 QR 코드 크기에 따른 인식률을 보여준다.

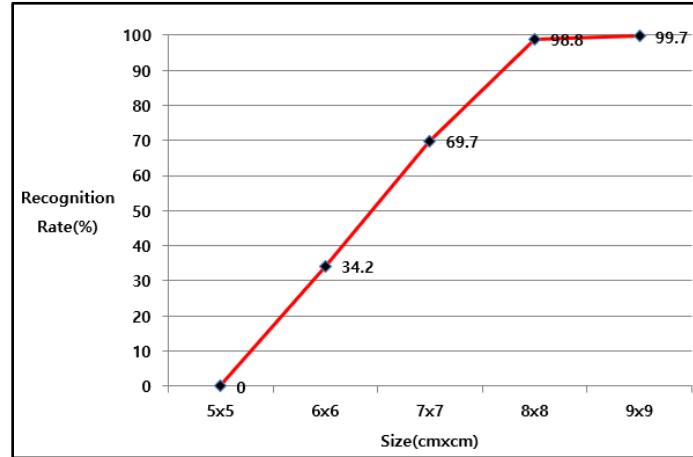


Figure 5. Recognition rate according to QR code size

그림 5. QR 코드 크기에 따른 인식률

움직이면서 영상을 인식하는 것은 움직이는 속도에 따라 많이 달라진다. 두 번째, QR 코드의 크기(9cm×9cm)와 QR 코드 높이(192cm)를 고정하고 운반 로봇의 주행 속도를 증가시키면서 가까운 거리의 목적지까지 3 개의 QR 코드로 각각 10 번씩 실험을 수행하였다.

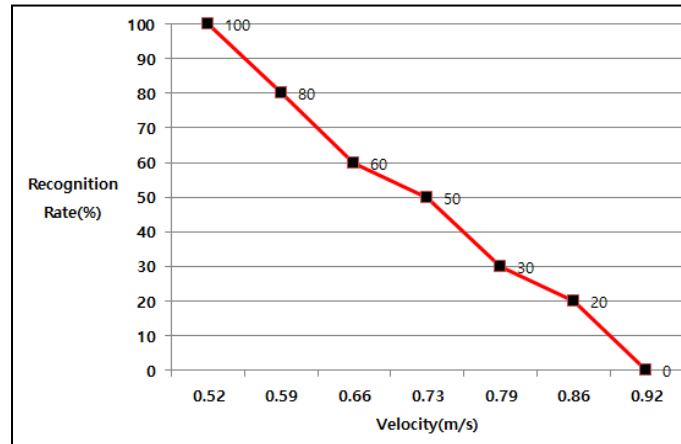


Figure 6. Recognition rate according to transport robot driving speed

그림 6. 운반 로봇 주행 속도에 따른 인식률

실험 결과, 운반 로봇의 주행 속도가 0.52m/s 이하일 경우에 QR 코드의 인식률은 거의 100%, 주행 속도가 0.73m/s 일 때 대략 50%, 주행 속도가 0.86m/s 이면 인식률이 20% 이하로 현저하게 떨어짐을 알 수 있었다. 그림 6은 운반 로봇주행 속도에 따른 QR 코드 인식률을 보여준다.

4.2 목적지 자율주행

본 논문에서는 운반 로봇이 목적지로 이동하기 위해 4.1에서 실험한 QR 코드 인식율을 바탕으로 천장에 QR 코드(9cm×9cm)를 부착하고, 운반 로봇의 주행 속도를 0.5m/s로 실험을 수행하였다. 목적지가 직진만 있는 경우와 목적지가 직진과 회전이 모두 있는 경우를 실험하기 위해 목적지 설정은 407 호, 407-1 호, 408 호, 414 호, 417 호실을 사용하였다.

실험을 수행하기 위한 사용자 인터페이스(GUI: Graphical User Interface)는 Microsoft 사의 MFC(Microsoft Foundation Class Library)를 이용하여 만들었다. MFC 는 C++기반 OPP(Object Oriented Programming)로 Windows 의 자원과 연관된 것들은 생성한 객체가 소멸되면 자동으로 Handle 을 해제하여 준다. 또한, 데이터 모델, 사용자 인터페이스, 제어 로직을 분리할 수 있는 MVC(Model View Controller) 디자인을 자연스럽게 생성할 수 있다. 그림 7은 운반 로봇 제어를 위한 사용자 인터페이스와 연결 결과 화면을 보여준다.



Figure 7. User interface and connection result screen

그림 7. 사용자 인터페이스 및 연결 결과 화면

그림 7에서 보는 바와 같이 사용자 인터페이스는 Serial 통신을 하기 위한 Port 와 Baudrate 를 선택하여 연결한다. 연결이 완료되면 송수신 데이터 로그와 로봇이 지나온 경로를 확인할 수 있다. 또한, 목적지 위치(호실)를 입력하여 로봇에 명령을 전송할 수 있다.

빛의 밝기 등 외부의 영향으로 카메라 설정이 필요할 경우 사용자 인터페이스에서 Camera Setting 을 클릭하여 밝기, 명암, 채도, 색상, 감도 등의 값을 설정할 수 있다. 그림 8은 카메라 설정 화면을 보여준다.

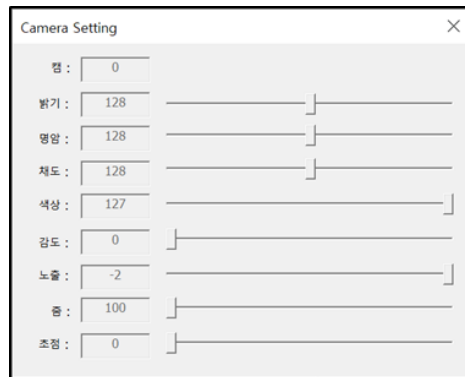
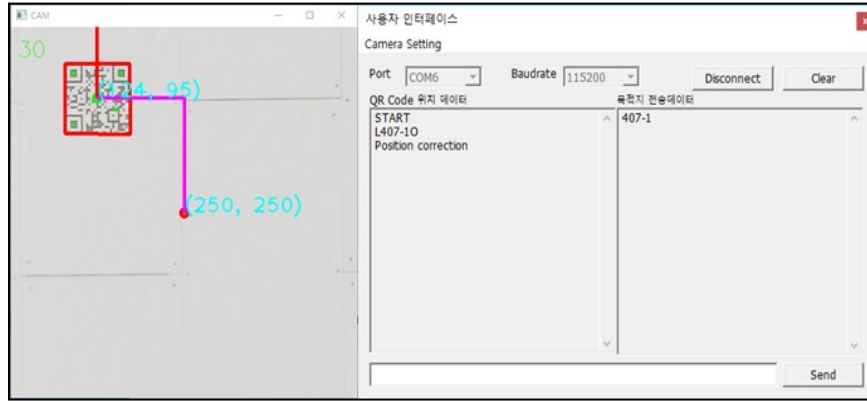


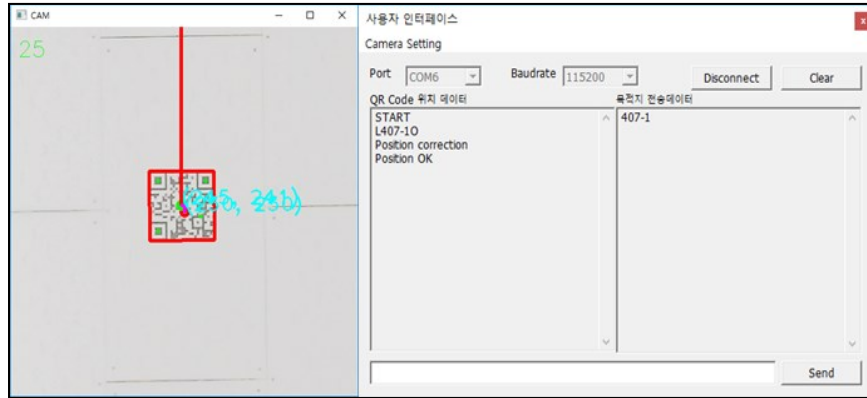
Figure 8. Camera Setting

그림 8. 카메라 설정

QR 코드 정보를 해독한 후 목적지가 아니면 운반 로봇이 계속 목적지를 향해 주행하고, 목적지에 도착하면 주행을 멈추고 완료한다. 만약, 목적지 이동 중 회전이 발생하게 되면 회전하기 전에 로봇이 상하좌우로 움직이면서 운반 로봇의 위치를 보정하고 목적지로 이동한다. 그림 9는 운반 로봇 위치와 QR 코드 위치를 보정하기 전후를 보여준다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 운반 로봇의 카메라 위치는 (250, 250) 이고, QR 코드 위치는 (124, 95)이므로 로봇이 왼쪽 대각선 방향으로 이동하여 위치를 보정한다.



(a) Before correction



(a) After correction

Figure 9. Before/After transport robot position and QR code position correction

그림 9. 운반 로봇 위치와 QR 코드 위치보정 전/후

운반 로봇이 목적지로 이동하기 위해 장애물이 없는 상태에서 목적지 방향이 직진만 있는 경우와 목적지 방향이 직진과 회전이 동시에 있는 경우에 대해 실험을 수행하였다.

첫 번째, 목적지 방향이 직진만 있는 경우 운반 로봇의 주행 실험을 수행하였다. 그림 10에서 목적지 데이터를 입력하고 운반 로봇에 전송하면, START 라는 피드백을 보내며 로봇 주행이 시작된다. 운반 로봇이 주행 중 QR 코드를 인식하여 목적지가 아니면 목적지가 아니라는 표시(X)와 함께 계속 앞으로 직진(Go forward)한다. 운반 로봇이 목적지에 도착하면 목적지라는 표시(O)와 함께 운반 로봇의 위치를 보정(Position correction)하고, 목적지가 왼쪽에 있으니 왼쪽으로 회전(Turn LEFT)한 뒤 목적지에 도착(Arrival at destination)했다는 메시지를 보낸다. 여기서, L(LEFT)은 왼쪽, R(RIGHT)은 오른쪽을 의미한다. 그리고 로그데이터에서는 운반 로봇이 주행할 때 경로를 확인할 수 있다. 로그데이터에서 가운데 선은 목적지까지 경로를 나타내고, 빨간 점들은 로봇이 QR 코드를 인식할 때 인식한 위치를 나타낸다. 그림 11은 목적지 방향이 직진만 있는 경우 운반 로봇이 목적지로 주행하는 것을 보여주고 있다.

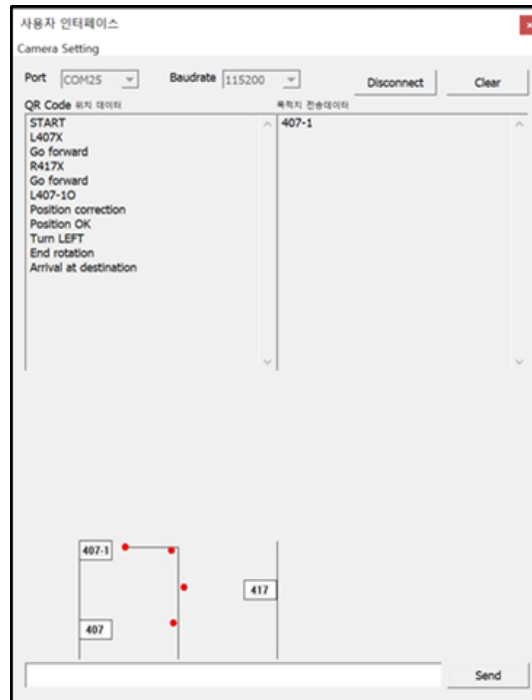


Figure 10. The transport robot driving interface when the destination direction is only going straight
 그림 10. 목적지 방향이 직진만 있는 경우 운반 로봇의 주행 인터페이스



(a)407 (b)417 (c)407-1 (d)Turn LEFT (e)Arrival
 Figure 11. The transport robot driving experiment when the destination direction is only going straight
 그림 11. 목적지 방향이 직진만 있는 경우 운반 로봇의 주행 실험

두 번째, 목적지 방향이 직진과 회전이 동시에 있는 경우 운반 로봇의 주행 실험을 수행하였다. 그림 12 에서 목적지 데이터를 입력하고 로봇에 전송하면, START 라는 피드백을 보내며 운반 로봇 주행이 시작된다. 운반 로봇이 목적지로 주행 중 회전이 발생하면 회전하기 전 운반 로봇의 위치를 보정하고 목적지가 오른쪽임으로 오른쪽으로 회전(Turn RIGHT)하고 직진한다. 운반 로봇이 목적지에 도착하면 목적지 표시와 함께 운반 로봇의 위치를 보정하고, 목적지가 오른쪽에 있으니 오른쪽으로 회전하고 목적지에 도착했다는 메시지를 보낸다. 여기서, F(FORWARD)는 정면을 의미한다. 마찬가지로, 로그데이터에서 가운데 선은 목적지까지 경로를 나타내고, 빨간 점들은 로봇이 QR 코드를 인식할 때 인식한 위치를 나타낸다. 그림 13 은 목적지 방향이 직진과 회전이 있는 경우 운반 로봇이 목적지로 주행하는 것을 보여주고 있다.

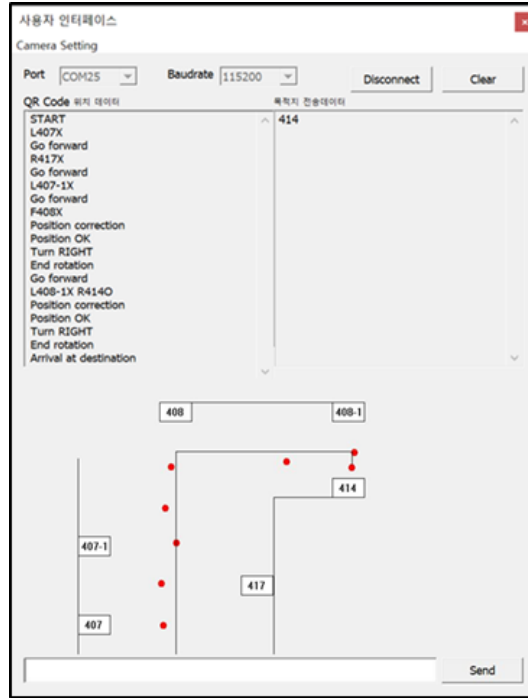


Figure 12. The transport robot driving interface when the destination direction is straight and turning
 그림 12. 목적지 방향이 직진과 회전이 있는 경우 운반 로봇의 주행 인터페이스

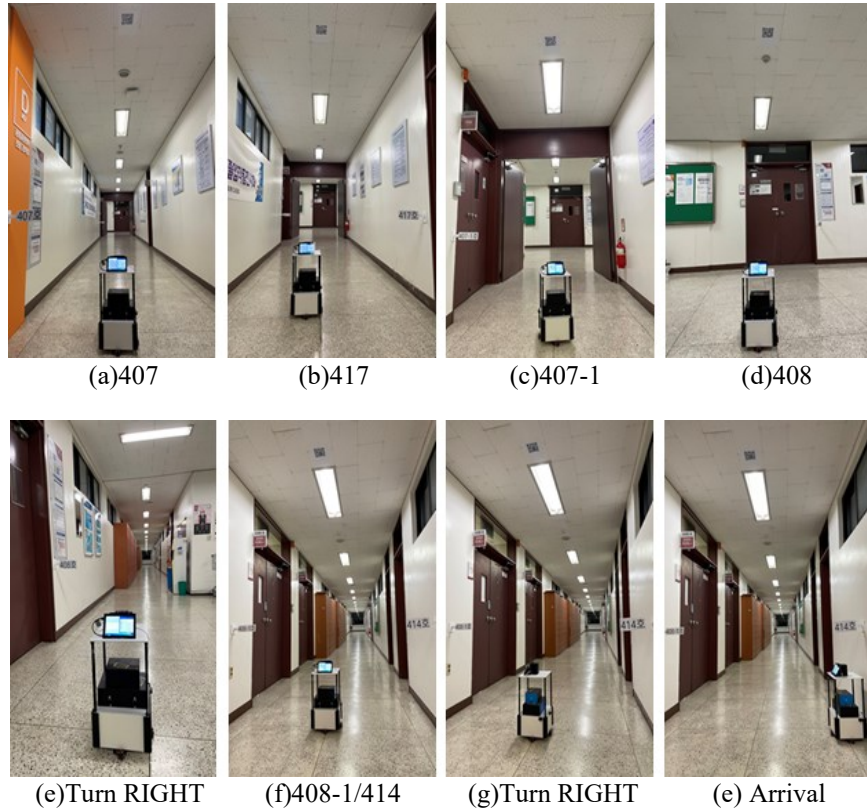


Figure 13. The transport robot driving experiment when the destination direction is straight and turning
 그림 13. 목적지 방향이 직진과 회전이 있는 경우 운반 로봇의 주행 실험

실험 결과, 목적지가 직진만 있는 경우에는 위치 보정이 거의 필요 없어 목적지에 빠르게 도달할 수 있었으나, 목적지에 회전이 포함된 경우에는 위치 보정이 필요하여 목적지에 도착하는 시간이 상대적으로 지연되었다. 그리고, 운반 로봇이 주행 중 약간의 위치 오차가 발생하였으나 비교적 정확하게 목적지에 도달함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문은 실내 환경에서 QR 코드를 이용하여 목적지 자율 주행이 가능한 운반 로봇에 관한 연구이다. 운반 로봇은 QR 코드 인식을 위한 카메라와 좌우 벽과의 거리를 감지하여 로봇이 이동 중 일정한 간격을 유지할 수 있도록 라이다 센서가 부착하여 설계 제작하였다.

QR 코드 영상 데이터의 관심 영역을 지정하고, Lanczos resampling 보간법으로 확대한 후 Otsu Algorithm 을 사용해 이진화 하였다. 그리고, Perspective Transform 을 이용하여 QR 코드를 바로잡고, Zbar 라이브러리를 활용하여 QR 코드 데이터를 해석하여 현재 운반 로봇의 위치를 보정하였다. QR 코드 인식은 운반 로봇의 카메라 위치와 QR 코드 높이(192cm)를 고정하고 QR 코드 크기와 운반 로봇의 주행 속도를 변화시키면서 실험을 수행하였으며, QR 코드 크기가 9cm×9cm 일 때 99.7%, 운반 로봇의 주행 속도가 약 0.5m/s 이하 일 때 100% 인식률을 보여주었다. QR 코드 인식율을 바탕으로 천장에 QR 코드(9cm×9cm)를 부착하고, 운반 로봇의 주행 속도를 0.5m/s 로 장애물이 없는 상태에서 목적지가 직진만 있는 경우와 목적지가 직진과 회전이 있는 경우에 대해 목적지 자율주행 실험을 수행하였다. 목적지가 직진만 있는 경우에는 위치 보정이 거의 필요 없어 목적지에 빠르게 도달할 수 있었으나, 목적지에 회전이 포함된 경우에는 위치 보정이 필요하여 목적지에 도착하는 시간이 상대적으로 지연되었다.

실험 결과, 운반 로봇이 주행 중 약간의 위치 오차가 발생하였으나 비교적 정확하게 목적지에 도달함을 알 수 있었으며, 라이다 센서와 QR 코드를 이용한 운반 로봇의 적용 가능성을 확인하였다. 그러므로, QR 코드 기반 목적지 자율주행 운반 로봇은 서빙 로봇, 배송 로봇, 물류 로봇 등에 적용이 가능하리라 사료된다.

향후, 운반로봇의 설계, 장애물의 유무, QR 코드의 크기 그리고 운반로봇의 속도 등 다양한 조건에서 목적지 자율주행이 가능하도록 연구를 계속하고자 한다.

VI. 참고문헌

- [1] Jeong-Ick Lee, "The Position Recognition Control using QR Code", J. Korean Soc. Mech. Technol, 23(2) : 211-218, 2021
- [2] Y. G. Song, Y. Lee, J. H. Jang and C. H. Lee, "A Study on QR Code based management of aircraft maintenance parts", Journal of Korea Safety Management and Science, Vol. 13, No. 1, pp.183-188, 2011.
- [3] Y. K. Lee and H. Yoo, "QR-code finder recognition using four directional scanning method", Journal of Korea Institute of Information and Communication, Vol. 16, No. 6, pp.1187-1192, 2012.
- [4] Lim, J. H. and Kim, H. J., "Development of an Autonomous Guide Robot for Campus Tour," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 41, no. 6, pp. 543-551, 2017.
- [5] Lim, J. H. and Leonard, J. J., "Mobile Robot Relocation from Echolocation Constraints," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, no. 9, pp. 1035-1041, 2000.
- [6] Seo, Soo Hee, "A Study of the Indoor Localization Method of a Robot Based on Unscented Kalman Filter Using Sonar Sensors", Master Thesis, Graduate School, Jeju National University, 2021.
- [7] Gwa-Cheol Jeong, Gach Sy Hung and Soo-Yeong Yi, "Development of Localization Using QR Codes for an Indoor Mobile Robot," Proceedings of KROS, pp. 60-61, 2021.
- [8] H. Song, W. Choi, and H. Kim, "Robust vision-based relative-localization LiDAR sensor fusion", IEE Trans. Ind. Electron, vol. 63, no.6, pp.3725-3736, Jun. 2016.
- [9] Zeeshan Javed, Gon-Woo Kim, "Omni-directional Visual-LiDAR SLAM for Multi-Camera System", Journal of Korea Robotics Society, Vol. 17, No. 3, pp. 353-358, 2022.

- [10] C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid, and J. J. Leonard, "Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust perception age," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 32, no. 6, pp. 1309-1332, Dec., 2016.
- [11] Nohyoung Park, Jonghee Park, Woontack Woo, "QR Code Region Detection and Tracking Method for Augmented Reality", *Korean Institute of Information Scientists Engineers, Conference*, Vol. 37, No. 2(C), pp. 393-397, 2010.
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code
- [13] Claude E. Duchon, "Lanczos Filtering in One and Two Dimensions," *Journal of Applied Meteorology* 18, pp. 1016-1022, 1979.
- [14] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
- [15] Heo, Hwan and Han, Gi-Tae, "A Robust Real-Time Lane Detection for Sloping Roads", *KIPS Transactions on Software and Data Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 413-422, 2013.
- [16] <https://b.mytears.org/2007/10/599/>
- [17] <http://zbar.sourceforge.net/>

저자소개



박세준(Se-Jun Park)

1997년 8월 목원대학교 대학원 전자 및 컴퓨터공학과(공학석사)
 2010년 8월 목원대학교 대학원 IT 공학과(공학박사)
 2011년 3월 ~ 현재 목원대학교 로봇학과 조교수

관심분야 : 지능로봇, 로봇센서, 모바일로봇, 스마트로봇, 임베디드 IoT