

# 인공 랜드마크 기반의 이동 로봇 측위 기법

박다정\*, 이석주\*, 권재락\*\*,  
최세영<sup>o</sup>

## Localization of Mobile Robot Based on Artificial Landmark

Dajeong Park\*, Seok-Ju Lee\*,  
Jaerock Kwon\*\*, Seyeong Choi<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 인공 랜드마크를 활용하여 구현한 두 가지의 실내 측위 시스템인 QR코드 기반 및 색상코드 기반의 측위 방법을 제안한다. QR코드 기반 방식은 위치 파악을 위한 참조 지점인 QR코드를 천장에 배치하고 로봇에 부착된 스마트폰이 QR코드를 감지해 위치를 계산한다. 색상코드 기반 방식은 로봇에 색상코드를 부착하여 천장의 카메라를 통해 위치 정보를 획득해 로봇의 위치를 측정한다.

**Key Words** : Mobile robot, localization, Artificial landmark, QR code, Color code

### ABSTRACT

In this paper, we propose two indoor localization systems implemented using artificial landmarks, QR code and color code-based localization method. In the QR code-based method, a QR code, a reference point for location determination, is placed on the ceiling, and a smartphone attached to the robot detects the QR code and calculates the location. The color code-based method measures the position of the robot by attaching a color code to the robot

and obtaining location information through a camera.

### I. 서론

이동 로봇의 필수적인 과제 중 하나는 로봇의 정확한 위치를 측정하여 자율적으로 주행할 수 있도록 하는 것이다<sup>1)</sup>. 이동 로봇의 성공적인 자율 행 및 작업 수행을 위해 주어진 환경에서 로봇의 위치와 방향을 빠르고 정확하게 추정하기 위한 다양한 시도가 연구되고 있다<sup>2-5)</sup>.

[2]에서는 이동 로봇의 위치 추정을 위한 효율적인 인공표식 배치 기법을 보여주고 [3]의 논문은 천장에 부착된 스피커나 라이트 등의 특징점을 통해 로봇의 위치를 추정하는데 특징점의 거리가 먼 경우, 인공 특징점을 추가해줘야 한다. [4]에서는 인공 랜드마크 기반 영상 정보와 크리켓 시스템에서 계산한 거리 정보를 결합하여 실내 이동 로봇의 실제 좌표를 계산하는 방법으로 크리켓은 거리 추정을 위해 무선 주파수 신호와 초음파 펄스 간의 TDOA(도착시간 차이)를 필요로 하여 추가적인 인프라 구성이 필요하다. [5]에서는 천장에 장착된 카메라를 사용하여 다중 이동 로봇을 식별하기 위한 특정 마커를 감지한다. 이는 정확도는 높으나 고품질 카메라와 확장 칼만 필터(EKF)를 필요로 한다.

이에 대응하여 본 논문에서는 인공 랜드마크와 카메라를 활용한 QR코드와 색상코드 기반의 두 가지 시각화 기반 위치 측정 방법을 제안한다. QR코드 기반 위치측정은 쉽게 생성할 수 있는 QR코드의 이미지 정보를 사용하여 추가 인프라를 구성하지 않아도 되고 색상코드 기반 위치 측정을 위해 사용되는 시각 센서는 가볍고 빠를 뿐 아니라 색상코드를 사용한다는 점에서 차별화할 수 있다. 이러한 점에서 본 논문에서 제안한 위치 측정 방법은 저비용으로 효율적인 위치 측정 성과를 낼 수 있다.

### II. QR코드 기반 이동 로봇 위치 측정

QR코드 기반 위치 측정을 QR코드를 천장에 부착

\* 이 연구는 2019학년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0001-6480-1323) Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang Univ., qjrejdns@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1888-9165) Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang Univ., sychoi@wku.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0002-4925-6221)National Security Research Institute, lee0216@nsr.re.kr, 정회원

\*\* (ORCID:0000-0002-5687-6998)Electrical and Computer Eng., Univ. of Michigan-Dearborn, jrkwon@umich.edu

논문번호 : 202009-242-C-LU, Received September 29, 2020; Revised October 21, 2020; Accepted November 4, 2020

한다. QR코드의 실제  $x, y$  좌표는 고유한 ID 번호와 함께 데이터베이스에 미리 저장되어 있으며 이동 로봇에 부착된 스마트폰은 Bluetooth를 통해 로봇과 통신하고 기본 제어 프로그램을 포함한 모바일 앱을 개발하여 천장에 부착된 QR코드를 인식하도록 한다.

### 2.1 로봇의 진행 방향 및 위치 계산

스마트폰의 QR코드 판독기가 QR코드를 감지하면 이미지 도메인 내 QR코드의 왼쪽 상단, 오른쪽 상단, 왼쪽 하단 모서리에 위치한 3개의 좌표를 수집한다. QR코드 모서리에 있는 왼쪽 상단과 오른쪽 상단의 좌표는 이동 로봇이 실제 환경으로 향하는 방향을 스스로 추정할 수 있도록 하는 유용한 정보이다. 왼쪽 상단과 오른쪽 상단 좌표를 포함한 수평선과 선 사이의 각도를 계산하여 방향을 추정한다.

그림 1은 로봇의 위치 계산 방법을 보여준다.  $Dist\_image$ 는 이미지에서 카메라 중심과 QR코드의 중심 사이의 거리로 정의하고  $Dist\_real$ 은 QR코드의 중심과 실제 로봇의 위치까지의 거리,  $Real\_base$ 와  $Real\_height$ 는 각각 실제 로봇의 위치와 QR코드 중심 사이의  $x$ 축과  $y$ 축의 거리,  $\theta$ 는  $Image\_base$ 와  $Image\_height$  사이의 각도,  $I_D$ 와  $R_D$ 는 각각 이미지와 실제 QR코드의 대각선 거리로 정의한다.

스마트폰 카메라의 이미지는 네 개의 영역으로 나누어지며 계산 과정은 QR코드의 중앙 좌표가 위치한 영역에 따라 달라진다. QR코드의 중심이 그림의 영역 ①에 위치한 경우, 로봇 위치의 실제  $x, y$  좌표는 각각 인공 랜드마크의 ID 번호에 따라 접근할 수 있는 QR코드의 실제 좌표  $R_x, R_y$ 와  $Real\_base, Real\_height$ 의 차를 통해 구할 수 있다.

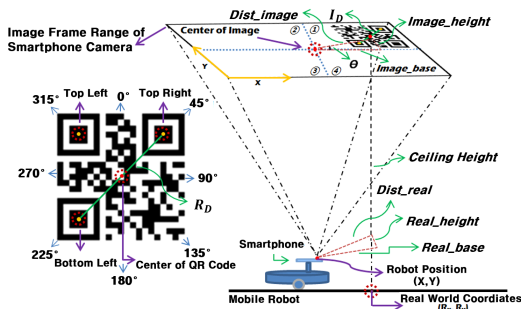


그림 1. QR코드 기반 이동 로봇의 위치 계산  
Fig. 1. QR code based mobile robot position calculation

## III. 색상코드 기반 이동 로봇 위치 측정

색상코드 기반 다중 이동 로봇의 위치 측정을 위해 둘 이상의 색상 태그를 조합한 색상코드를 이동 로봇에 부착한다. 색상코드는 좌표 정보 외에도 이동 로봇의 각도 추정치와 id 번호를 제공한다. 천장에 부착된 특정 색상을 식별할 수 있는 기능을 가진 Pixy 카메라를 통해 색상코드를 감지하면 그림 2와 같이 랜드마크의 id, 중앙의 좌표, 높이, 너비 및 각도와 같은 이미지 정보를 수집해 반환한다.

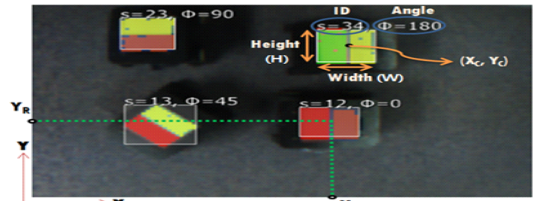


그림 2. 카메라에 캡처된 이미지 정보  
Fig. 2. Image information captured by the camera

### 3.1 로봇의 위치 측정

색상코드의 평균 각도 값과 중심은 각각 이동 로봇의 방향과 위치로 정의된다. 로봇이 회전하는 동안 영상 프레임에서의 로봇의 높이( $H$ )와 너비( $W$ )가 변동되므로 다시 계산해야 하며 이는 로봇에서 디코딩되는 정보를 통해 얻을 수 있는  $x, y$ 축에 대한 로봇의 실제 이동 거리와 영상프레임에서 로봇의 이전 위치와 현재 위치, 실제 랜드마크의 치수인  $L_C$ 의 비례식을 통해 구할 수 있다.

그림 2에서  $(X_R, Y_R)$ 은 실제 영역에서 이동 로봇의 위치를 나타내며 이는  $(X_C, Y_C)$ 를 영상에서 이동 로봇의 중앙 좌표라고 할 때, 식 (1)과 같이 이미지 영역으로부터 실제 영역으로 변환하여 구할 수 있다.

$$X_R = (X_C \cdot L_C) / W, Y_R = (Y_C \cdot L_C) / H \quad (1)$$

## IV. 실험 결과

실험 설정을 위해 실험 경로에 장애물이 없도록 하였고 실험 평가를 위해 NDI 3D Investigator 광학 추적기를 사용하였으며 이를 통해 얻은 데이터를 실제 좌표 및 방향 값으로 간주하였다. 각 랜드마크를 통해 계산된 위치 측정 결과는 데이터베이스에 저장되고 광학 추적기를 통해 얻은 실제 정보와 비교하여 오차를 계산하였다.

### 4.1 QR코드 기반 위치 측정 결과

모바일 로봇 플랫폼은 마이크로 컨트롤러와 직렬 인터페이스를 통해 제어되는 iRobot crate base를 기반으로 하였고 로봇 실험 테스트의 이동 영역의 크기는 약 2.4\*1.8m이고 천장 높이는 2.2m이다. 4개의 QR코드를 사용하여 그림 3과 같이 시험 경로를 구성하고 측정 단위는 cm로 한다.

이동 로봇은 시작 위치에서 첫 QR코드로 이동하고 이를 인식해 가야할 방향을 계산하며 F<sub>1</sub>지점에서 첫 QR코드가 있는 지점인 Q<sub>1</sub>을 감지하게 된다. 따라서 F<sub>1</sub>~F<sub>5</sub>는 각 QR코드를 처음 감지할 때 계산된 예상위치이며 F<sub>i</sub>지점에서 Q<sub>i</sub>로 가기 위한 거리와 방향을 계산한다.

그림 3의 녹색원은 NDI 광학 추적기로 얻은 로봇의 실제 위치, 파란색 삼각형은 QR코드 기반 위치 측정 기법으로 계산한 로봇의 추정 위치, 빨간색 사각형은 각 QR코드의 위치이다. 그림 4의 (A), (B)는 각각 F<sub>1</sub>부터 F<sub>5</sub> 지점 및 Q<sub>1</sub>부터 Q<sub>4</sub> 지점의 이동 로봇의 실제 위치와 QR코드 기반 위치 측정을 통한 추정 위치의 오차를 보여준다.

QR코드 검출이 완료된 후 이동 로봇이 정지하는데 걸리는 시간으로 인해 F<sub>1</sub>~F<sub>5</sub>지점에서의 상대적으로 높은 오차가 발생하였으나 이는 10cm 이내이며 QR코드가 부착된 지점인 Q<sub>1</sub>~Q<sub>4</sub> 지점에서는 3.2~6.55cm 범위의 오차를 보여 제안된 위치 측정 방법을 사용하여 상당히 높은 정확도의 결과를 얻을 수

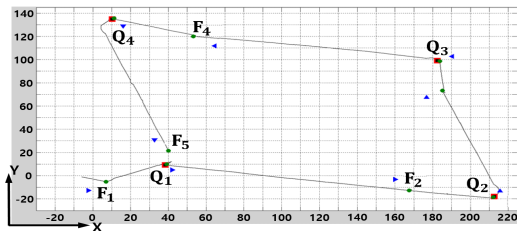


그림 3. QR코드 기반 위치 측정 결과  
Fig. 3. QR code-based location measurement results

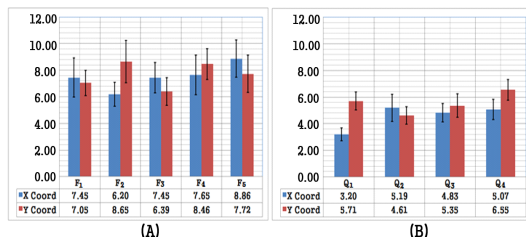


그림 4. 평균 오차(cm) 및 표준 편차  
Fig. 4. Average error (cm) and standard deviation

있었다.

### 4.2 색상코드 기반 위치 측정 결과

DFRobot 4WD(사륜구동)를 모바일 플랫폼으로 사용하였고 길이 290cm, 폭 155cm로 하는 영역에서 대략 180cm 높이에 카메라를 부착하여 실험을 진행하였다.

이동 로봇에 광학 기기로 추적 가능한 적외선을 방출하는 스마트 마커를 부착하였다. 이는 광학 기기를 통해 물체의 정확한 좌표 정보와 방향을 얻을 수 있으며 마커가 카메라 시스템의 시야 내에 머무르는 동안 로봇의 위치를 일관되게 추적한다.

그림 5의 (A)에 표시된 빨간색 선과 네 개의 점은 각각 이동 로봇의 실제 경로와 사각형 모양의 각 모서리를 나타낸다. 황색 별은 이동 로봇의 시작점을 나타내고 녹색 사각형과 파란색 삼각형은 각각 추정된 이동 로봇의 경로와 위치를 나타낸다. 광학 추적기가 각 점의 위치 정보를 수집하여 Pixy 카메라의 위치와 비교한다.

그림 5의 (B)는 P1부터 P4 지점의 이동 로봇의 실제 위치와 색상코드 기반 위치 측정을 통한 추정 위치의 오차를 보여준다. 이동 로봇이 카메라 시점에서 P2와 같은 가장자리에 접근할수록 오차가 더 커지는 것으로 관측되었으나 1.42~5.93cm 범위의 오차로 QR코드를 기반으로 한 실험 결과보다 더 높은 정확도를 보여준다.

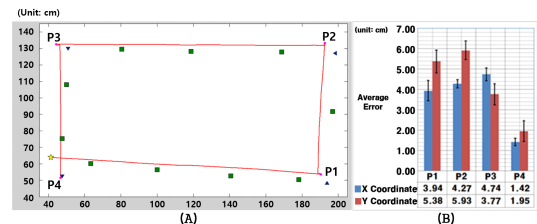


그림 5. 색상코드 기반 위치 측정 결과 및 평균 오차  
Fig. 5. Color code-based location measurement results and average error

## V. 결론

본 논문에서는 천장에 부착된 QR코드와 이동 로봇에 부착된 색상코드로 구성된 인공 랜드마크를 활용한 실내 이동 로봇 위치 측정 접근 방법을 제안하였다. QR코드와 이미지 처리 기술과 관련된 참조 좌표를 이용하여 이동 로봇의 위치와 방향을 계산하였으며 시각 처리 및 로봇의 위치 측정 작업은 이동 로봇

에 탑재된 Android 스마트폰에서 수행하였다. 색상코드와 단일 카메라를 이용한 다중 이동 로봇의 위치 측정은 카메라 시야 안에서 동작하고 있는 이동 로봇을 식별하고 추적하기 위해 색상 감지의 의존하며 로봇의 정확한 위치 파악을 위해 Pixy 카메라를 사용하였다.

제안된 QR코드와 색상코드를 기반으로 한 이동로봇의 위치 측정 실험 결과 1.42~6.55cm의 오차 범위를 보여 실제 환경에서 이동 로봇의 위치 측정을 위해 사용 가능함을 확인하였다.

## References

- [1] S. K. Jeong, T. G. Kim, and N. Y. Ko, "Programming toolkit for localization and simulation of a mobile robot," *J. KIIS*, vol. 23, no. 4, pp. 332-340, Aug. 2013.
- [2] S. W. Noh, N. Y. Ko, and T. Y. Kuc, "Localization of a mobile robot using ceiling image with identical features," *J. KIIS*, vol. 26, no. 2, pp. 160-167, Apr. 2016.
- [3] J. W. Kim and W. J. Chung, "Efficient placement of artificial landmarks for low-cost localization of a mobile robot," *J. IKEEE*, vol. 17, no. 4, pp. 434-439, Dec. 2013.
- [4] Y. G. Kim, J. U. An, and K. D. Lee, "Localization of mobile robot based on fusion of artificial landmark and RF TDOA distance under indoor sensor network," *Int. J. Advanced Robotics Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 203-211, Jan. 2011.
- [5] G. Baatar, M. Eichhorn, and C. Amet, "Precise indoor localization of multiple mobile robots with adaptive sensor fusion using odometry and vision data," *IFAC Proc. Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 7182-7189, Cape Town, South Africa, Aug. 2014.