

바닥의 패턴을 이용한 이동로봇의 위치인식 Localization of Mobile Robot Using Floor Pattern

*#양광응¹, 조국², 김흥석³

*#K. W. Yang(page365@kitech.re.kr)¹, K. Cho², H.-S. Kim³

^{1,3} 한국생산기술연구원, ² 과학기술연합대학원

Key words : Robot, Localization, Particle Filter, Floor Pattern

1. 서론

자율주행 로봇이 자신의 위치를 인식하는 문제는 지금까지 중요한 이슈가 되어왔으며 다양한 방법들이 제안되었다. 주로 카메라를 사용하여 천정이나 기둥, 벽면의 인공표식이나 자연표식을 인식하는 방법들이 있으며^[1,2], 레이저 스캐너로 측정된 벽면의 모양과 지도를 매칭하는 방법들도 있다. 또 다른 연구로 바닥에 바코드나 RFID 태그를 설치하여 위치 인식에 활용하는 방법들도 제안되었으나^[3,4] 시공 비용이나 태그의 파손과 같은 문제로 인해 실제 사용에는 한계가 있다. 또한 공장과 같이 천정이 높거나 불규칙한 경우 혹은 옥외 광장과 같이 천정이나 벽면이 없는 경우에는 천정이나 벽면의 랜드마크를 활용할 수 없으며 레이저 스캐너를 활용할 수도 없다. 이러한 경우에는 GPS와 같은 비컨 방식을 사용하거나 바닥의 정보를 활용하는 방법이 있다.

본 논문에서는 바닥의 패턴을 인식하여 로봇의 위치인식에 활용하는 방법을 제안한다. 실제로 호텔의 로비나 전시장, 옥외 광장과 같은 경우, 대리석이나 카펫, 페인트 등으로 바닥에 규칙적인 문양을 구성한 곳이 많기 때문에 여기서 제안하는 방법을 활용할 수 있을 것이다. 바닥의 패턴인식 방법은 크게 두 부분인데, 이미지 평면의 점을 바닥의 점으로 매핑하는 부분과 파티클 필터로 바닥의 패턴을 지도와 매칭하여 로봇의 위치를 추정하는 부분이다.

2. 매핑

지면을 내려다 보도록 로봇에 설치된 카메라가 바닥의 패턴을 읽어 로봇이 가진

패턴 지도와 비교하기 위해서 먼저 이미지 평면상의 한 픽셀을 로봇 좌표계를 기준으로 하는 실세계의 한 점으로 매핑해야한다. 다음 그림 1에서 XYZ는 전역 좌표계이고 X'Y'Z'는 카메라 좌표계이다. 그리고 카메라 좌표계를 기준으로 이미지 평면상의 한 점 (y,z)를 정의한다. 여기서 $\mathbf{t}=(t_x, t_y, t_z)^T$ 는 전역 좌표계를 기준으로 카메라 좌표계의 변위를 나타내고 $\mathbf{R}_{3\times 3}(\psi, \theta, \phi)$ 는 전역 좌표계를 기준으로 카메라 좌표계가 $R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\phi)$ 만큼 회전한 행렬이다.

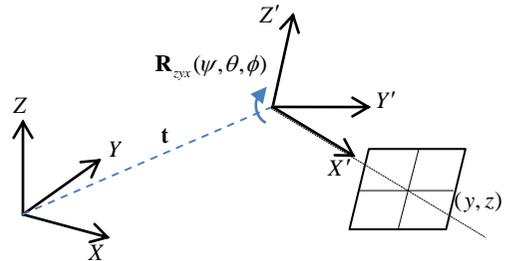


Fig. 1 Coordinate transformation between global coordinate and image plane coordinate

카메라 좌표계의 한 점 $\mathbf{p}_c=(x_c, y_c, z_c)^T$ 를 전역 좌표계의 한 점 $\mathbf{p}_w=(x_w, y_w, z_w)^T$ 로 변환하는 동차변환 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p}_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3\times 3}(\psi, \theta, \phi) & \mathbf{t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{p}_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

또한 동차변환 행렬의 역은 전역 좌표계의 한 점 \mathbf{p}_w 을 카메라 좌표계의 한 점 \mathbf{p}_c 로 변환한다.

$$\mathbf{p}_c = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \mathbf{R}_{3\times 3}^T(\psi, \theta, \phi) \begin{bmatrix} x_w - t_x \\ y_w - t_y \\ z_w - t_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

카메라 좌표계 상의 한 점 \mathbf{p}_c 와 영상 평면 내의 한 점 $\mathbf{p}=(y,z)^T$ 와의 관계는 다음과 같이 핀홀 카메라 모델을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_y \frac{y_c}{x_c} \\ f_z \frac{z_c}{x_c} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 f_y, f_z 는 카메라의 초점 거리다.

3. 위치인식

파티클필터(Particle Filter)를 사용한 위치인식 과정은 크게 예측(predict)과 갱신(update), 리샘플링(resampling) 과정으로 진행된다. 예측 과정은 두 바퀴 차동 구동방식의 이동로봇에서와 같다^[5].

보정과정은 먼저 카메라에서 읽어 들인 이미지에서 격자형태의 $n \times m$ 개 점들을 추출한다. 그리고 이미지 상의 각 점들의 좌표 $\mathbf{p}=(y,z)^T$ 를 전역 좌표계 상의 점으로 변환한다. 이 변환과정은 식 (1)과 (2)의 역함수이다.

$$\mathbf{p}_c = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = x_c \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & f_y & 0 \\ 0 & 0 & f_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$\triangleq \mathbf{T}_c$

$$\mathbf{p}_w = \mathbf{R}_{\text{gyx}}(\psi, \theta, \phi) \mathbf{p}_c + \mathbf{t} \quad (4)$$

상기 두 식 (3)과 (4)를 조합하면 3개의 방정식이 있고 미지수(x_w, y_w, x_c)가 3개인 연립방정식이 되어 해를 구할 수 있다.

$$\mathbf{p}_w = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w = 0 \end{bmatrix} = x_c \mathbf{R}_{\text{gyx}}(\psi, \theta, \phi) \mathbf{T}_c^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ y \\ z \end{bmatrix} + \mathbf{t}$$

이제 전역 좌표계로 변환된 이미지 평면 상의 $n \times m$ 개 점들을 패턴 지도와 비교하여 파티클의 확률을 갱신한다.

4. 시뮬레이션 및 결론

제안하는 방법의 구현에 앞서 알고리즘의 검증은 위해 그림 2와 같이 3종류의 바닥 패턴으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 로봇의 좌우 바퀴에는 이동량에 비례하는 가우시

안 잡음 $e \sim N(0, 0.05)$ 을 가했으며, 반지름 2m 원을 따라 100m 이동하도록 하였다.



(a) Type 1 (b) Type 2 (c) Type 3
Fig. 2 Three pattern types used in simulations

표 1은 시뮬레이션 결과로 각 바닥의 종류에 대한 최대 오차와 평균 오차를 보인다. 유형(Type) 3에서 로봇은 한 바퀴 주행을 마치기 전에 위치를 상실했으며, 평균 오차는 위치를 상실하기 전까지의 오차에 대한 평균이다.

Table 1 Position errors for each pattern type

| Pattern type | Type 1 | Type 2 | Type 3 |
|--------------|--------|--------|----------|
| Max Error | 0.332 | 0.657 | ∞ |
| Mean Error | 0.082 | 0.094 | 0.210 |

시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 방법의 실현 가능성을 확인하였으며, 향후 유형 3과 같이 성긴 패턴이 있는 바닥을 고려하여 알고리즘의 특징점 추출 방법을 보완할 필요가 있다.

참고문헌

1. 채문석, 양태규, “천정 인공 랜드마크에 의한 이동로봇의 정밀 위치추정에 관한 연구,” 한국정보기술학회논문지, 231-237, 2011.
2. 김범성, 김동엽, 황재필, 김은태, “SLAM 을 위한 3 차원 지도 인터페이스,” 한국지능시스템학회 춘계학술대회, 181-183, 2009.
3. 허진욱, 정웅식, 정완균, “바코드가 있는 가정환경에서의 위상학적 지도형성 및 자율주행,” 대한기계학회논문집, 1124-1133, 2006.
4. 탁명환, 주영훈, 박진배, “RFID 시스템 기반 다수 이동 로봇 인식 알고리즘,” 대한전기학회 하계 학술대회, 1810-1811, 2010.
5. 양광웅, 하승석, 이호길, “RFID 위치인식 시스템과 태그의 배치 방법,” 정밀공학회 추계학술대회, 593-594, 2010.