

컬러 랜드마크를 이용한 이동 로봇의 자가 측위

Localization of Mobile robot using color landmark

김성찬, 고수홍, 김형석, 김종만, 이왕희

Seongchan Gim, Suhong Ko, Hyongsuk Kim, Jongman Kim, Wang-Hee Lee

Abstract - This paper propose a localization method using color landmark that is applicable to mobile intelligent robot. The color landmarks are attached in the indoor ceiling. The world coordinate of robot is estimated by color patterns and the coordinates of landmarks. A landmark is composed of 4color and these 4 colors are sorted in a line. All of landmarks have a main color which indicates direction of robot. Other 3 colors are the combination of 5 kind of colors. The CCD camera is installed on the top of robot to observe the landmarks in the ceiling.

Key Words : localization, landmark, mobile, robot

1. 서 론

로봇에 대한 관심이 높아지면서 지능형 이동 로봇의 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이동 로봇 기술에서 가장 중요한 기술들 중 하나는 자가 측위 기술이다. 이동 로봇의 자가 측위 기술은 1980년 이후에 활발하게 연구되고 있지만 현재까지도 제한된 환경에서만 이용 가능한 방법이 제시되었다.

자가 측위에 사용되는 기술은 바퀴의 구동 수를 이용하여 정해진 시작 위치에서 어느 정도 떨어져 있는지를 알아내는 오도메트릭을 이용하는 방법이 있다 [1]. 오도메트릭을 이용한 방법은 미끄러짐이나 주변 환경에 의한 구동 오차가 누적되는 단점이 있다. 또한, GPS와 같이 초음파를 이용하는 기술도 있는데, 초음파 센서는 책상이나 책장과 같은 실내 구조에 의한 오차가 나오게 된다 [2][3]. 레이저 센서를 이용하여 실내의 지도를 작성하고 작성된 지도와 측정된 데이터의 매칭된 부분을 찾아서 자가 측위하는 방법도 개발되었다 [4]. 이러한 기술과 함께 비전 센서 방법도 제안되었는데[5], 레이저 포인터를 천장에 비추고 적외선 레이저의 위치를 인식하여 자가 측위하는 방법이다. 이와는 달리 랜드마크를 이용하는 방법도 제안되었다[6].

기존의 랜드마크는 주요 지점이나 물체에 랜드마크를 부착하여 로봇이 진행 방향에서 바라보며 자가 측위를 하였다. 그러나 위와 같은 방법은 다른 물체나 사람에 의해 랜드마크를 보는데 어려움을 발생할 수 있다. 또한, 복잡한 환경에서 랜드마크를 찾아야함으로 오차 발생률이 높다.

본 논문에서는 천장에 컬러 랜드마크를 부착하는 방법을 제안하였다. 형광등과 같은 실내 조명하에서도 밝기에 대한 영향이 최소화되는 HSI 컬러 모델을 이용하였다.

2. Localization

본 논문에서는 랜드마크 하나를 이용하여 로봇의 방향과 위치 좌표를 알 수 있는 방법을 제안하였다. 로봇의 좌표를 알기 위해서 천장에 제안한 랜드마크를 붙이고 카메라로 촬영한 영상에서 랜드마크를 인식하게 한 다음, 인식한 랜드마크 영상 좌표에서 실 좌표의 위치 정보를 유도하는 방법을 사용하였다.

2.1 랜드마크의 구성

랜드마크는 그림 2.1과 같이 4가지 색상으로 이루어져 있으며 하나의 색상 크기는 40×60(mm)이고 전체 크기는 160×60(mm)이다. 랜드마크의 방향을 알기 위해서 메인 컬러로 노란색을 공통으로 사용하였으며 나머지 3가지 색상은 5종류의 색상을 조합하여 유일한 색상 순서를 갖도록 구성하였다. 그림 2.1에서는 왼쪽부터 노란색, 녹색, 주황색, 보라색으로 구성되어있다.

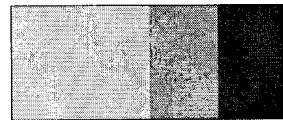


그림 2.1 제안한 랜드마크

2.2 랜드마크 인식

입력 받은 영상에서 랜드마크를 인식하기 위해서는 그림 2.2와 같이 영상 입력 후 랜드마크에 사용한 6가지 색상에 대해서 각각 라벨링을 수행하게 된다. 그 후, 메인컬러인 노

저자 소개

- * 김성찬: 全北大學 制御計測工學科 碩士課程
- * 고수홍: 全北大學 制御計測工學科 碩士課程
- * 김형석: 全北大學 制御計測工學科 教授
- ** 김종만: 南道大學 컴퓨터應用電氣學科 副教授·工博
- * 이왕희: 全北大學 制御計測工學科 碩士

란색을 찾고 차례로 나머지 색상을 찾게 된다. 색상을 찾을 경우 환경과 잡음에 의해 라벨링된 영역이 실제 랜드마크의 색상 크기보다 크거나 작을 경우가 있으므로 크기 필터링을 수행한다. 그 다음, 메인컬러인 노란색의 위치를 결정하고, 보조컬러를 메인컬러로부터 가까운 순서대로 3개를 결정하게 된다. 하나의 랜드마크가 이루는 색상들이 메인컬러에서 가장 가깝기 때문에 메인컬러와 거리가 짧은 색상이 같은 랜드마크를 구성하는 색상이다. 그러므로 메인 컬러까지의 거리를 구해서 메인컬러와 가장 가까운 3가지 색상을 구하고 거리가 짧은 순으로 오름차순 정렬을 하면 랜드마크의 컬러 순차가 정해지게 된다. 이렇게 나온 일련의 컬러 순서를 가지고 미리 저장되어 있는 랜드마크들의 색상 데이터들과 비교해보면 어느 랜드마크인지 어느 좌표에 있는 마크인지를 알 수 있다.

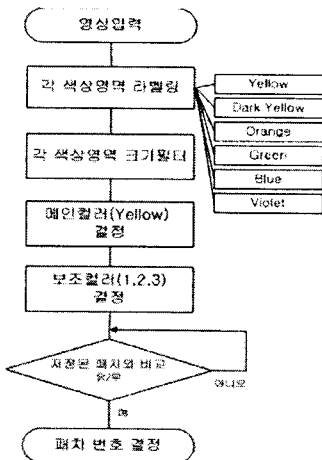


그림 2.2 랜드마크의 색상 결정

로봇이 이동하면서 랜드마크를 볼 수 있는 영상의 화각에서 벗어날 경우를 대비해서 경계 부분에서는 마크가 두 개 보이는 경우가 있다. 이러한 경우 메인컬러의 라벨링 번호가 빠른 랜드마크가 선택되어진다.

2.3 Localization

Localization을 하기 위해서 영상에서 랜드마크의 메인 컬러 좌표를 $L_i^1 = (L_{ix}^1, L_{iy}^1)$ 로 하고 보조 컬러의 마지막 컬러의 좌표를 $L_i^2 = (L_{ix}^2, L_{iy}^2)$ 로 한다. 영상에서의 랜드마크의 중심 좌표는 식(1)과 같다.

$$L_{ix} = \frac{L_x^1 + L_x^2}{2} \quad (1)$$

$$L_{iy} = \frac{L_y^1 + L_y^2}{2}$$

실 좌표계의 메인 컬러 좌표는 $L_w^1 = (L_{wx}^1, L_{wy}^1)$, 마지막 컬러 좌표는 $L_w^2 = (L_{wx}^2, L_{wy}^2)$ 로 한다. 랜드마크의 실

좌표계에서는 식(2)와 같이 얻을 수 있다. y

$$\begin{aligned} L_{wx}^1 &= L_{wx}, & L_{wy}^1 &= L_{wy} - 6 \\ L_{wx}^2 &= L_{wx}, & L_{wy}^2 &= L_{wy} + 6 \end{aligned} \quad (2)$$

그림 2.3은 입력된 영상으로서 점 P는 영상의 중심이다. 영상의 중심 P를 로봇의 중심으로 하고 랜드마크의 회전된 각을 구하게 된다. 회전각을 구한 후 랜드마크의 좌표와 영상의 중심 좌표 P를 실 좌표계로 회전이동 시킨다. 회전 이동 후 랜드마크의 중심에서 P의 위치까지의 좌표 이동값에 scale factor를 곱해주면 실 좌표계의 위치가 나오게 된다.

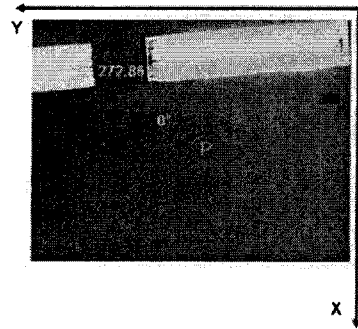


그림 2.3 입력된 영상

그림 2.4는 컬러 랜드마크의 실 좌표계와 영상 좌표계에서 크기 비와 로봇의 회전에 대해서 나타내고 있다. 로봇이 회전된 경우 x축을 바라보는 노란색 방향을 기준으로 시계 방향으로 회전 각도가 계산된다. 식(3)은 영상에서의 메인 컬러에서 마지막 컬러까지의 거리이다.

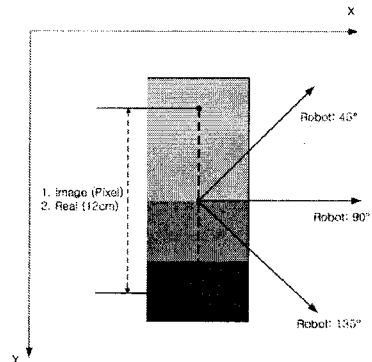


그림 2.4 랜드마크의 크기 및 방향성

$$\|L_i^1 - L_i^2\| = \sqrt{(L_{ix}^1 - L_{ix}^2)^2 + (L_{iy}^1 - L_{iy}^2)^2} \quad (3)$$

식(4)와 식(5)의 θ 를 이용하면 회전된 각도를 구할 수 있다.

$$\cos \theta = \frac{|L_{iy}^1 - L_{iy}^2|}{\sqrt{(L_{ix}^1 - L_{ix}^2)^2 + (L_{iy}^1 - L_{iy}^2)^2}} \quad (4)$$

$$\theta = \arccos(\cos \theta) \quad (5)$$

0~90°는 $\zeta = \theta$, 90~180°는 $\zeta = 180 - \theta$, 180~270°는 $\zeta = 180 + \theta$, 270~360°는 $\zeta = 360 - \theta$ 이다.

컬러 마크의 메인 컬러인 노란색 중심과 마크의 마지막 색상의 중심을 연결하는 길이는 실제로 12cm가 된다. 천장에 붙이고 촬영하게 되면 약 40.04pixel 정도가 되고 크기 비로 환산하면 약 0.2996정도가 된다. 이와 같은 과정을 수식으로 나타내면 식(6)과 같다. s는 scale factor이다. 영상과 실 좌표의 크기 비이다.

$$s = \frac{\|L_w^1 - L_w^2\|}{\|L_i^1 - L_i^2\|} \quad (6)$$

로봇의 중심 P를 영상의 중심으로 하고 P를 기준으로 ζ 만큼 회전 이동시키면 식(7)과 같이 실 좌표계의 좌표를 얻을 수 있다.

$$R_{ix} = \cos(-\zeta) \times (L_{ix} - P_x) + \sin(-\zeta) \times (L_{iy} - P_y) + P_x \quad (7)$$

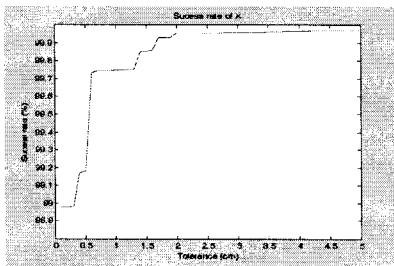
$$R_{iy} = \cos(-\zeta) \times (L_{iy} - P_y) - \sin(-\zeta) \times (L_{ix} - P_x) + P_y$$

식(8)에서 P에서 떨어진 좌표를 구한 후 식(9)와 같이 랜드마크의 좌표에서 떨어진 위치를 구하면 실 좌표가 나온다.

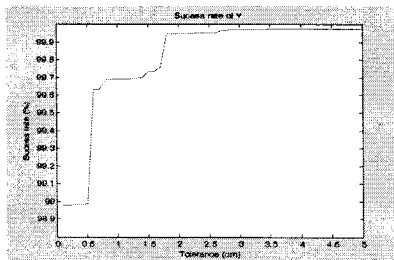
$$\begin{aligned} X_r &= (P_x - R_{ix}) \times S \\ Y_r &= (P_y - R_{iy}) \times S \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} X_w &= L_{wx} - X_r \\ Y_w &= L_{wy} - Y_r \end{aligned} \quad (9)$$

2.4 실험 결과



(a) X좌표



(b) Y좌표

그림 2.5 허용 오차 범위에서 자가 측위 성공률

제안한 방법을 이용하여 같은 위치에서 1000번 측정 한 실 좌표 데이터에서 오차 허용 범위를 0~5cm까지 변경하면서 측정한 결과는 그림2.5와 같다. 로봇이 정지해 있는 동안 99%이상 정확하게 자세를 유지할 수 있음을 보이고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 컬러 랜드마크를 이용하여 이동 로봇의 자가 측위 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 이용하여 사무실 환경에서 로봇 주행을 성공적으로 수행하였다. 오차는 5cm 이하이다. 또한, 최단거리 길찾기 알고리즘으로 동적계획법을 이용해도 초당 10프레임이상 처리 가능하여 수행하는 속도에 무리 없이 측정 가능하였다.

감사의 글

이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았다.

참 고 문 헌

- [1] J. Borenstein and L. Feng, "Measurement and corrections of systematic odometry errors in mobile robots," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.12, no.6, pp.869-880, 1996
- [2] H. Choset and K. Nagatani, "Topological SLAM : Toward exact localization without explicit localization," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.17, no.2, pp.125-137, 2001.
- [3] J. D. Tardos, J. Neira, P. M. Newman and J. J. Leonard, "Robust mapping and localization in indoor environments using sonar data," International Journal of Robotics Research, vol.21, no.4, pp.311-330, 2002.
- [4] P. Newman, J. Leonard, J. D. Tardos and J. Neira, "Explore and return : experimental validation of real-time concurrent mapping and localization," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1802-1809, 2002.
- [5] Yamamoto, Y. Pirjanian, P. Munich, M. DiBernardo, E. Goncalves, L. Ostrowski, J. Karlsson, N., "Optical sensing for robot perception and localization," 2005 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, pp.14-17, June, 2005.
- [6] Gijeong Jang, Sungho Kim, Wangheon Lee, Inso Kweon, "Color Landmark Based Self-Localization for Indoor Mobile Robots," International Conference on Robotics & Automation Washington, DC, pp.1037-1043, May, 2002.