

천장 조명을 이용한 점 패턴 매칭 기반의 광역적인 위치 추정

강민태*, 성창훈*, 노현철*, 정명진*
한국과학기술원*

Point Pattern Matching Based Global Localization using Ceiling Vision

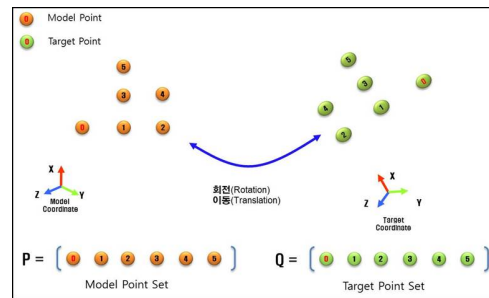
Min-Tae Kang*, Chang-Hun Sung*, Hyun-Chul Roh*, Myung-Jin Chung*
KAIST*

Abstract - In order for a service robot to perform several tasks, basically autonomous navigation technique such as localization, mapping, and path planning is required. The localization (estimation robot's pose) is fundamental ability for service robot to navigate autonomously. In this paper, we propose a new system for point pattern matching based visual global localization using spot lightings in ceiling. The proposed algorithm is suitable for system that demands high accuracy and fast update rate such a guide robot in the exhibition. A single camera looking upward direction (called ceiling vision system) is mounted on the head of the mobile robot and image features such as lightings are detected and tracked through the image sequence. For detecting more spot lightings, we choose wide FOV lens, and inevitably there is serious image distortion. But by applying correction calculation only for the position of spot lightings not whole image pixels, we can decrease the processing time. And then using point pattern matching and least square estimation, finally we can get the precise position and orientation of the mobile robot. Experimental results demonstrate the accuracy and update rate of the proposed algorithm in real environments.

명 패턴간의 대응 쌍을 알아 내면 Least Square Estimation 방법을 이용한 Localization Algorithm을 이용하여 로봇의 위치를 추정한다.

2.1.1 Point Pattern Matching

Point Pattern Matching 알고리즘은 사전에 정한 모델 패턴(Model Pattern)에 대하여 비교 대상이 되는 타겟 패턴(Target Pattern)간에 대응 쌍을 알아내는 것이다. Shin-Hsu, Fang-Hsuan이 제안한 두 패턴간의 대응 쌍을 알아내는 방법은 모델 패턴 점간의 관계와 타겟 패턴 점간의 관계를 허프 변환(Hough Transform)을 통하여 패턴 매칭을 한다.



〈그림 1〉 모델 점 군과 타겟 점 군

1. 서 론

이동로봇이 자율 주행 능력을 갖기 위해서는 몇 가지 필수적인 기능이 요구된다. 로봇 자신의 위치를 스스로 알아내는 위치추정(Localization), 현재 자신의 위치에서 목표지점까지 이동 가능한 경로를 생성하는 경로 계획(Path Planning), 생성된 경로를 추종하는 주행항법(Navigation), 이동 중 변화하는 주위 환경을 감지(Sensing)하고, 회피(Collision Avoidance)하는 기능 등이 필요하다[1].

이 중, 위치추정은 자율 주행 능력을 위한 가장 기본적이며 중요한 기능이다. 로봇 자신의 위치를 알 수 없다면, 경로 생성은 물론 원하는 곳으로 주행조차 할 수 없다. 이를 위해 레이저 거리 감지기(Laser Range Finder), 비전 센서(Vision sensor), 초음파(Ultrasonic Wave), 무선통신(Radio Frequency) 등의 센서들을 사용한다[2].

이 중 비전 센서를 사용한 위치추정 연구가 많이 진행되고 있다. 게다가 비전 센서는 작고 가볍고 업데이트(Update)속도가 빠르며, 비교적 저렴한 가격이라는 장점을 갖고 있다. 또한 실내용 이동로봇의 비율이 실외용 보다 훨씬 많고, 모든 실내에는 천장이 있으므로 이를 이용한 위치추정에 관련된 연구가 많이 진행되고 있다.

천장 2D 평면상의 자연 표식(natural landmark)을 패턴(Pattern)으로 삼아 추적(Tracking)하고 이를 이용하여 이동로봇의 위치를 추정한 예 [3]가 있고, 천장 이미지의 특징 점(Feature)을 이용하여 동시 지도작성 및 위치추정(SLAM)을 수행하였으며, 3D Gradient Orientation Method 와 Multi-View를 이용하여 회전과 Affine 변환 문제를 해결한 연구[4]도 있다.

본 논문에서는 조명이 반복적이지 않은 pattern을 갖는 환경에서 point pattern matching을 이용한 매우 빠르고 정확하며 이전 영상이나 정보를 사용하지 않는 현재의 영상만으로 위치추정(Localization)이 가능한 시스템을 제안한다.

2. 본 론

2.1 Point Pattern Matching & Localization

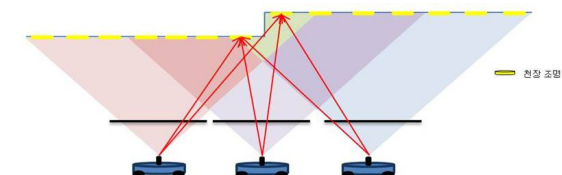
천장 조명은 Point Pattern Matching 알고리즘[5]을 이용하여 사전에 정한 모델 패턴 조명과 입력 영상에 의하여 얻어진 조명 패턴을 비교하여 조명 패턴간의 회전(Rotation), 이동(Translation), 크기(Scale)을 알아낸다. Point Pattern Matching 알고리즘을 통하여 모델 패턴과 입력 조

모델 패턴 점 군이 m 개의 특징 점(feature)로 구성되어 된 경우에 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 과 같이 모델 점 군을 생성하며 타겟 패턴 점 군의 경우에도 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ 로 표현한다. 각각의 점은 좌표 $(x, y)^T$ 로 표현이 가능하다. 즉, $Q = \{(x_p, y_p)^T \mid i = 1, \dots, n\}$ 로 표현이 가능하다. 모델 패턴 점 군 P 에 있는 점 p_1 에 대응하는 타겟 패턴 점 군 Q 에 있는 점 q_1 을 찾는 것은 변환 행렬(transformation matrix) $G_{(t_x, t_y, s, \theta)}$ 의 변수 t_x, t_y, s, θ 를 찾는 것이다 할 수 있다. 여기서 t_x, t_y 는 방향의 이동(translation)을 나타내며 s 는 스케일(scaling factor), θ 는 회전각(rotation angle)을 나타낸다. 즉 모델 패턴의 점 $p = (x_p, y_p)^T$ 와 타겟 패턴의 점 $q = (x_q, y_q)^T$ 간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$Q = G_r(P) \Rightarrow \begin{pmatrix} x_q \\ y_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s \cos \theta & -s \sin \theta \\ s \sin \theta & s \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

2.1.2 Multi model based Point Pattern Matching

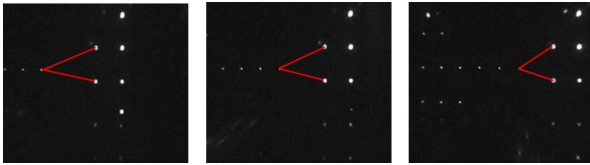
Point Pattern Matching 알고리즘을 로봇 위치 추정 에 이용할 때, <그림 2>와 같이 천장 조명의 높이가 상이한 경우에 로봇의 위치의 따라서 모델 패턴 점간에 간격이 상이해 지는 문제점이 생긴다.



〈그림 2〉 천장 높이가 다른 경우 단일 패턴의 문제

<그림 3>은 실제 천장 조명의 높이가 다른 위치에 로봇의 위치를 달

리 하며 천장 조명 영상을 얻은 것으로 로봇의 위치에 따라서 간격이 다르게 되는 것을 볼 수 있다. 이렇게 로봇의 위치에 따라서 모델 패턴의 점간 간격이 상이한 경우에 모델 패턴의 일반성이 떨어지며 포인트 패턴 매칭 율도 떨어 진다는 문제점이 생긴다.



〈그림 3〉 천장 높이가 다른 경우 얻은 실제 데이터

이에 본 논문에서는 다중 모델 기반 포인트 매칭 기법을 제안하여 서로 동일한 높이에 있는 조명에 대해서만 모델 패턴 점 군을 생성하여 포인트 패턴 매칭 율을 높였다.

2.1.3 Localization

지금까지 다중 모델 기반 포인트 매칭 기법을 통하여 모델 패턴 점군과 대응이 되는 타겟 패턴 점군의 매칭 쌍을 얻었다. 얻어진 매칭 쌍의 타겟 포인트는 식(2)와 같이 카메라의 K Matrix 와 천장의 높이(Z)를 이용하여 실제 3차원 좌표로 복원이 이루어 진다.

$$Q_{real} = \{K^{-1}q_a \times Z | a = 1, \dots, n\} \quad (2)$$

실제 3차원 좌표로 바뀌어진 타겟 패턴의 점군 Q_{real} 은 모델 패턴의 3차원 점 군 P_{real} 과 Least Square Estimation 방법을 이용하여 로봇의 위치를 추정한다.[6]

모델 패턴의 3차원 점 군과 타겟 패턴의 3차원 점 군의 대응 쌍의 거리 차의 제곱 합이 최소가 되는 변환 행렬(transformation matrix) $G(t_x, t_y, s, \theta)$ 의 변수 t_x, t_y, s, θ 를 Least square estimation 방법을 이용하여 찾아 낸다.

$$e_i = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s \cos \theta & -s \sin \theta \\ s \sin \theta & s \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{p_i} \\ y_{p_i} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_{q_i} \\ y_{q_i} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_{a_i} & -y_{a_i} \\ 0 & 1 & y_{a_i} & x_{a_i} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ -s \cos \theta \\ s \sin \theta \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_{q_i} \\ y_{q_i} \end{pmatrix}$$

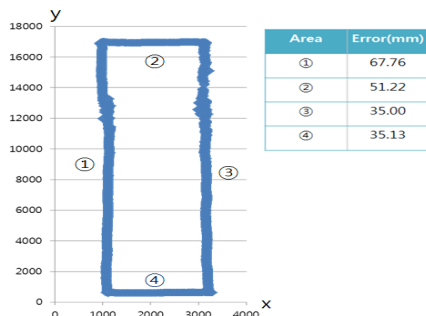
$$= c_{p_i} r - q_i$$

여기서 e_i 는 모델 패턴의 3차원 점 군 P_{real} 과 $G(t_x, t_y, s, \theta)$ Q_{real} 의 차이를 나타낸다.

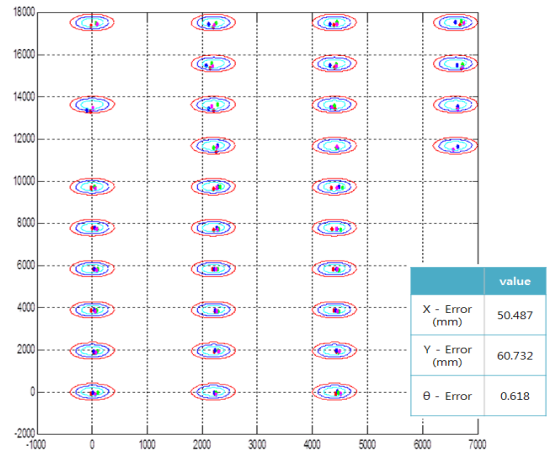
3. 결 과

제안된 알고리즘은 1.5m 높이의 로봇에 적용하여 실험을 진행하였다. 사용된 카메라는 1/3" 크기의 progressive scan CMOS sensor를 사용하였다. 또한 사용한 렌즈는 120도 화각을 가지고 있으며 2GHz CPU를 사용하여 실험을 진행하였다. 그리고 본 연구에서는 640x480크기의 영상만을 사용하였다. 실험 장소는 인천 송도 T-City 건물 1층의 로비로 하여 실험을 진행하였다.

실험은 멈추어 있는 상황에서 Ground truth의 위치와 각도를 정확히 알 수 있는 몇 개의 지점에서 영상을 획득하고, 이를 이용하여 Localization을 수행하였을 때의 error를 구하는 방법과 grid를 따라서 움직이면서 영상을 얻고, 속도가 어느 정도 있을 때의 position 및 orientation error를 구하는 두 가지 방법으로 실험을 진행하였다.



〈그림 4〉 dynamic condition 결과



〈그림 5〉 위치 추정 결과(녹색 원 : 100mm, 파란색 원 : 200mm, 빨간색 원 : 300mm)

모든 실험에서 실시간성을 확보할 수 있었고 갱신 속도는 약 10¹²frame/sec를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

서비스 로봇의 자율 주행을 위한 위치 추정 모듈을 천장 비전을 이용하여 연구 개발하였다. Point Pattern Matching 알고리즘[9]을 이용하여 사전에 정한 모델 패턴 조명과 입력 영상에 의하여 얻어진 조명 패턴을 비교하여 조명 패턴 간의 회전, 이동, 크기를 알아내고 그 값을 토대로 사전에 정한 모델의 위치와의 상대적인 거리 차를 알아 낼 수 있다. 이를 이용하여 사전에 제작한 맵에서의 로봇의 위치를 추정하는 알고리즘을 개발하였다.

개발한 위치 추정 알고리즘은 오차가 10cm내외로 매우 작은 오차를 가지고 있다. 이는 개발한 알고리즘이 자율 주행에 충분히 사용할 수 있다. 현재 개발한 알고리즘의 경우 다른 센서 사용 없이 카메라만을 이용하므로 비용 면에서도 저렴하고 또한 모든 건물이 가지고 있는 조명의 패턴을 이용하므로 추가적인 센서 부작으로 인한 주위 경관의 훼손을 방지할 수 있는 장점이 있다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 R&D 프로그램의 연구결과로 수행되었음.

[2008-S-031-01, Hybrid u-Robot Service System Technology Development for Ubiquitous City]

[참 고 문 헌]

- [1] J.Borenstein, H.R. Everett, and L. Feng, "Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning," The University of Michigan, 1996.
- [2] Azhar Dilshad, and Dr. Sunita Chauhan, "Latest Advancements in Mobile Robot Localization in Manufacturing Environment," International Conference on Business, Technology and Engineering (ICBTE), 2010.
- [3] O. Ait Aider, G. Blanc, Y. Mezouar and P. Martinet, "Pattern Tracking and Visual Servoing for Indoor Mobile Robot Environment Mapping and Autoumous Navigation," ICINCO 2006
- [4] WooYeon Jeong, Kyoung Mu Lee, "CV-SLAM: A new Ceiling Vision-based SLAM technique," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.
- [5] Shie-Hus Chang, and Fang-Hsuan Cheng, "Fast Algorithm for Point Pattern Matching: Invariant To Translations, Rotations and Scale Changes, Pattern Recognition, 1997.
- [6] S.Umeyama, " Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns, " IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell, 13(4),376-380, April, 1991.