

# 영상 및 거리정보 융합을 이용한 이동로봇의 위치 인식 및 오차 보정에 관한 연구

## A study on localization and compensation of mobile robot using fusion of vision and ultrasound

장철웅\*, 정기호, 정대섭\*\*, 류제군\*\*\*, 심재홍\*\*\*\*, 이응혁\*\*\*\*\*

Cheol-Woong Jang, Ki-Ho Jung, Dae-Sub Jung, Je-Goon Ryu, Jae-Hong Shim, Eung-Hyuk Lee

**Abstract** - A key component for autonomous mobile robot is to localize itself. In this paper we suggest a vision-based localization and compensation of robot's location using ultrasound. Mobile robot travels along wall and searches each feature in indoor environment and transformed absolute coordinates of actuality environment using these points and builds a map. And we obtain information of the environment because mobile robot travels along wall. Localization search robot's location candidate point by ultrasound and decide position among candidate point by features matching.

**Key Words** : Localization , Kidnapping, Ultrasound, Monocular, SIFT

### 1. 서론

이동 로봇이 원하는 경로로 주행을 하려면 이동로봇의 위치 인식, 장애물 회피, 주변 환경에 대한 지도 작성 등의 문제를 해결하여야 한다. 이 중 로봇 자신의 위치인식 문제는 현재 경로에서의 위치를 알기 위함으로 매우 중요하다. 위치 인식은 전역적 위치인식(Global Localization)과 국부적 위치인식(Local Localization)으로 분류할 수 있다. 국부적 위치인식은 로봇의 초기 위치를 알고 있기 때문에 엔코더 누적 데이터만으로도 대략적인 위치를 인식할 수 있지만 로봇의 초기 위치를 모르고 주행을 하는 전역적 위치 인식법은 주변 환경을 인지하여야 위치인식이 가능하다.

이것을 위하여 여러 가지 센서들을 사용하고 있다. 위치 인식에 사용할 수 있는 센서로는 대표적으로 거리센서와 비전센서가 있으며 근래에 들어서는 초음파위성, 적외선위성 시스템이 제안되고 있다. 거리센서는 보통 초음파센서와 레이저 스캐너를 사용하여 획득한 거리 데이터를 확률기반의 Kalman Filter나 Monte Carlo method를 사용하여 위치추정을 하게 되는데 단순히 로봇과 물체간의 거리데이터를 기반으로 하기 때문에 오차가 심하며, 실시간적인 위치 인식이 어렵다[1]. 영상센서는 거리센서에 비해 획득할 수 있는 데이터가 다양하고, 저가이면서 효율적인 알고리즘으로 통하여 고성능을 낼 수 있어 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [2]. Lowe는 스테레오 카메라를 이용한 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 알고리즘을 사용하여 주변 환경에 대한 지도를 작성하고 카메라에서 인식한 물체의 특징점을 지도 데이터와 비교하여 위치를 추정하는 방법을 제안

하였다[3][4]. 이 방법은 SIFT 특성이 스케일이나 회전에 강인함을 갖고 있어 비교적 정확한 인식률을 보이나 주변 환경이 넓어지면 그 만큼 늘어나는 특징점을 DB에 저장해야 하기 때문에 시스템의 메모리 제약이 있으며[5], 방대한 데이터 관리 문제가 있다.

본 논문에서는 저가의 단일 비전센서(Monocular Vision)와 초음파센서를 융합하여 전역적 위치인식을 위한 방법과 오차를 보정하기 위한 방법을 제안한다. 먼저 비전센서와 로봇의 엔코더 정보를 이용하여 실내환경의 지도를 작성한다. 그리고 Kidnapping 상황에서 로봇의 자기위치 인식을 수행한다. 영상인식을 위한 기법은 이동로봇의 회전 및 이동시 강인함을 갖기 위해 Lowe가 제안한 SIFT 알고리즘을 사용하였으며, 시스템의 메모리 부하를 줄이기 위해 특징점의 개수를 줄였다. 지도와 영상 비교시 위치 오차를 보정하기 위해 12개의 초음파 센서를 통한 거리 히스토그램[6]을 사용하고, 그 성능을 검증한다.

### 2. 특징점 검출

영상의 특징점 검출을 위한 방법은 여러 가지 있으나 영상의 크기 변화와 회전 변화에 강인한 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 알고리즘을 사용하여 특징점을 검출한다. 입력영상의 가우시안 영상 피라미드를 생성한 후 가우시안 영상의 차를 이용하여 그 값의 극대, 극소점을 구하게 되는데, 이 점들은 명암과 주요 곡률(Principle curvature)에 대해 민감하기 때문에 제거되어야 한다. 제거된 극대, 극소점들은 특징점이 되어, 각각의 특징점들을 국부 영상 특성에 준하여 방위 히스토그램을 구하고, 이를 이용하여 각각의 특징점 마다 특징벡터를 구성한다. 이렇게 해서 구해진 각각의 점에 대해 좌표  $x, y$ , 스케일, 방향, 128개의 서술자(descriptor)를 저장한다.

#### 저자 소개

- \* 韓國産業技術大學 電子學科 碩士課程
- \*\* 韓國産業技術大學 Mechatronics 碩士課程
- \*\*\* 仁下大學 電子學科 博士課程
- \*\*\*\* 韓國産業技術學校 Mechatronics 教授
- \*\*\*\*\* 韓國産業技術大學 電子學科 教授

### 3. 위치인식 알고리즘

위치추정 방법은 현재 비전 센서로부터 획득한 맵과 이전에 작성된 지도 데이터를 이용하여 이루어진다. DB에 저장되어 있는 지도 데이터에서 각 중요 특징점들이 도출되고 이를 센서로부터 획득한 지도와 매칭시켜 그 차이를 이용하여 로봇의 위치를 구한다. 로봇이 지도 작성을 완료한 후에는 로봇의 작업공간은 Feature Map 정보에 의하여 자연적 랜드마크가 형성된 것과 같다. 로봇이 목적으로 이동하기 위해 기본적인 엔코더나 초음파 센서를 이용하여 위치인식 및 장애물 회피를 하고, 주행 중 비전센서를 이용하여 검출된 특징점에 의해 로봇의 자세를 보정할 수 있다. 입력 영상의 특징점  $F_n$ 과 Feature map상의 특징점  $M_m$ 을 매칭을 통하여 최종 특징점을 검출한다. 이때 입력 영상에서 매칭된 특징점을  $\tilde{F}_k$ , Feature Map상에서 매칭된 특징점을  $\tilde{M}_k$ 라 한다. 즉,  $\tilde{F}_k$ 와  $\tilde{M}_k$ 는 동일한 특징점으로 두 특징점들의 상대 좌표에 의하여 Affine 변형 파라미터를 구할 수 있게 된다.  $\tilde{F}_k$ 의 상대좌표는  $(X_f, Y_f, Z_f)$ ,  $\tilde{M}_k$ 의 상대좌표는  $(X_m, Y_m, Z_m)$ 이라고 하면 두 특징점들은 로봇이 실내 환경에서 평면주행을 하기 때문에 식 (1)을 만족하게 된다.

$$\begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서  $t_x, t_z, \theta$ 는 각각 Feature Map의 상대위치에 대응하는 로봇의 상대 위치와 자세가 된다. 따라서 매 위치에서 Feature Map과 2개 이상의 매칭 점을 가지고 있으면 식 (1)에 의하여 로봇의 위치와 자세를 구할 수 있다.

### 4. 센서퓨전에 의한 위치인식 오차 보정

이동로봇이 Feature Map을 작성하면 매 위치에서의 특징점들은 DB에 저장되어 있으며, 이는 위치추정을 위해 현재 들어온 영상의 특징점들과 매칭되어 위치와 자세를 구하게 되는데, 물체의 특징점이 모호하거나 조명에 변화가 심할 경우엔 잘못된 매칭을 수행하게 되어, 이동로봇 위치 추정시 오차를 유발한다.

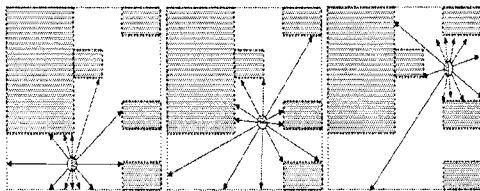


그림 1. Robot Pos에 따른 초음파센서 스캔

이러한 오차를 줄이기 위해 12개의 초음파 센서를 30도 간격으로 어레이 배치를 하고 전 방향 스캔을 한다. 이는 초음파 센서에서 12개의 거리 히스토그램으로 현재 위치가 될 수 있는 후보점을 얻을 수 있다. 후보점과 영상 특징점을 비교하여 최종 위치를 결정한다. 그림 2는 위치인식 보정을 위한 단일 비전 센서와 초음파 센서를 퓨전한 모델이다. 엔코더에 의해 일정간격마다 영상의 특징점과 거리데이터를 얻어 DB에 저장되어 Feature Map과 거리 히스토그램을 각각 매칭하여 로봇의 위치를 추정한다.

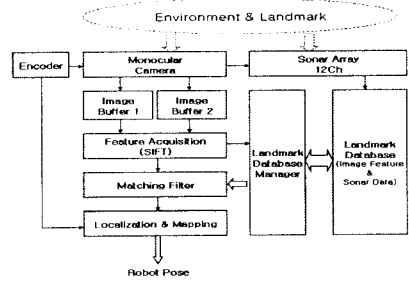


그림 2. 위치 인식 오차보정을 위한 모델

### 5. 실험 및 결과

#### 5.1 시스템 구성

실험은 한울로보틱스의 Hanuri-RD 로봇을 사용하였다. 초음파 거리측정기는 12개의 40Khz대 PIEZO형 센서를 사용하였고 비전센서는 Logitech의 webcam을 사용하였다.

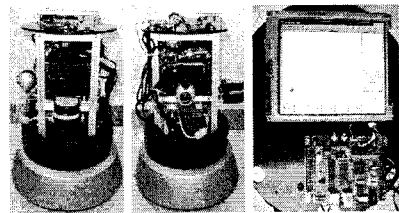


그림 3. 로봇의 전면과 주제어부

로봇의 주제어부의 메인 컨트롤러는 PXA272(Intel 520Mhz) 프로세서이며 임베디드 리눅스 환경에서 제어하였다. PC에서는 SIFT 및 매칭 알고리즘을 처리하여 소켓 통신으로 로봇에게 전송한다.

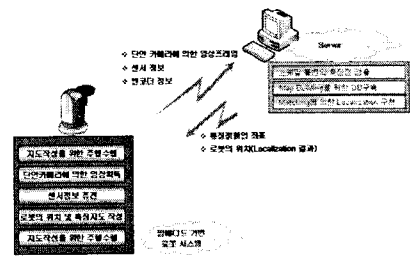


그림 4. 임베디드 기반 로봇시스템의 전체 구성도

#### 5.2 실험환경

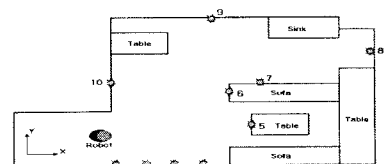


그림 5. 실내 환경지도 및 랜드마크

실험 환경은 8m×5m 크기의 실내 거실이고 랜드마크는 10개를 사용하였다.

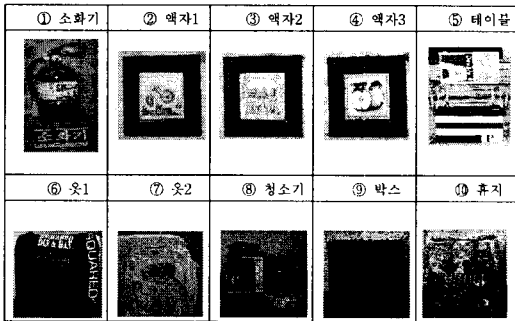


그림 6. 랜드마크로 사용되는 물체

### 5.3 Feature Map 작성

로봇은 실험환경의 벽면을 따라 한 바퀴 주행하면서 주변 환경에 대한 Feature Map을 작성하여 DB에 저장한다. 그림7은 작성된 Feature Map을 나타낸다.

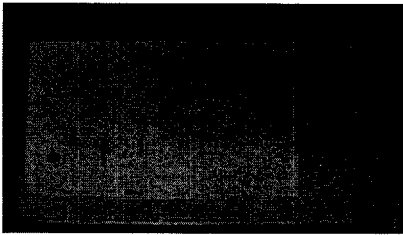


그림 7. Wallfollowing 주행을 통해 얻어진 Feature Map

### 5.4 Localization 성능검증

로봇은 Feature Map 작성 후 Kidnapping 상황에서 주행하여 로봇의 위치를 인식한다. Kidnapping 상황에서의 로봇은 현재 위치를 알 수 없으며, 두 장의 영상을 입력받아 특징점을 검출한 후 DB에 저장되어 있는 특징지도의 랜드마크들과 비교하여 가장 근접한 랜드마크로 인식하며, 상대적인  $(x, y, \theta)$  언어 로봇의 위치를 인식한다. 실험에서는 그림6에서 보듯이 총 10개의 랜드마크를 선정하여 주행경로에 배치하였고 1, 3, 5, 7, 9번 랜드마크를 대상으로 Kidnapping 성능을 검증하였다. 여기서 비전센서만으로 위치 인식을 한 결과와 비전센서, 초음파센서를 융합하여 위치인식 결과를 얻는다.

반복 횟수 랜드마크	반복 횟수										인식 정확도(%)
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	
①	②	②	①	②	①	①	①	②	②	②	40
③	③	③	③	③	①	③	③	③	①	③	80
⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	100
⑦	⑦	⑦	⑨	⑨	⑦	⑦	⑦	⑦	⑨	⑦	70
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑦	⑨	⑨	⑦	⑨	80

표 1. 단일 비전센서에서의 위치인식 결과

반복 횟수 랜드마크	반복 횟수										인식 정확도(%)
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	
①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	②	90
③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	100
⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	100
⑦	⑨	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	80
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	100

표 2. 센서퓨전에서의 위치인식 결과

인식결과, 비전센서만으로 위치인식 했을 경우엔 74(%)의 위치인식 정확도를 보였으며, 비전센서와 초음파 센서를 융합했을 경우에는 94(%)의 위치인식 정확도를 나타냈다.

### 6. 결론

본 논문 저가의 비전센서와 초음파센서를 융합하여 이동로봇의 강인한 위치인식법을 제안하였다. 12개의 거리 히스토그램으로 위치 후보점들을 선택한 후 비전센서에서 인식한 특징점과 후보점들을 비교하여 최종 위치를 결정한다. 그 결과, 단일 비전센서에서 위치인식을 했을 때 보다 강인한 인식률을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 저가의 초음파 센서를 추가하여 현재 비전센서만으로 위치인식시 오차를 보정할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun. "Active markov localization for mobile robots," Robotics and Autonomous Systems, vol. 25, pp. 195-207, 1998.
- [2] J. S. Lee, D. F. Shen, O. S. Kwon, E. H. Lee, S. H. Hong, "Mobile Robot Localization and Mapping using Scale-Invariant Features," Journal of IKEEE, Vol. 9, No.1 pp.7-18, 2005.
- [3] D.G. Lowe, and S. Se, "Vision-Based global localization and mapping for mobile robots," Proc. of IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, pp. 217-226, June, 2005.
- [4] D.G Lowe, "Distinctive Image Features form Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [5] Niklas Karlsson, Luis Goncalves, Mario E. Munich, and Paolo Pirjanian "The vSLAM Algorithm for Navigation in Natural Environments" Evolution Robotics, Inc.
- [6] Iwan Ulrich and Johann Borenstein. "VFH+: Local Obstacle Avoidance with Look-Ahead Verification" Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation San Francisco, CA \* April 2000 pp2505 - 2501.