

## 이동 로봇을 위한 센서 융합 기반의 선형 위치 추정 시스템

태용민, 김지성, 유연걸, 김시중, 정명진  
한국과학기술원

### Sensor Fusion based Linear Position Estimation for Mobile Robot

Yong Min Tai, Ji Sung Kim, Yeon Geol Ryu, Si Jong Kim, Myung Jin Chung  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract** - 본 논문에서는 실내 GPS(indoor GPS) 센서와 전방향 비전 센서(Omni-directional Mirror)를 융합하여 랜드 마크가 있는 환경에서 선형 위치 추정 알고리즘을 이용한 이동 로봇을 위한 위치 추정 시스템을 제안한다.

#### 1. 서론

이동 로봇(Mobile Robot)의 정확한 현재의 위치인식(Localization)은 이동 로봇이 어느 방향으로 움직이든지 중요한 기준점이 되어 주어진 임무의 수행을 도울 수 있다. 실내 GPS(indoor GPS) 센서는 위치를 추정해주는 역할을 하는 센서이지만, 크기가 작은 이동로봇이 사용하기에는 오차의 범위가 크기 때문에 정교하게 위치를 추정하는 방법이 필요하다. 위치인식에서 중요한 핵심인 보다 정확한 현재 위치의 추정을 위해서 본 논문에서는 한 대의 이동로봇과 여러 개의 랜드 마크를 이용하여 이동 로봇의 위치를 보다 정확하게 추정하기 위한 방법을 제안한다.

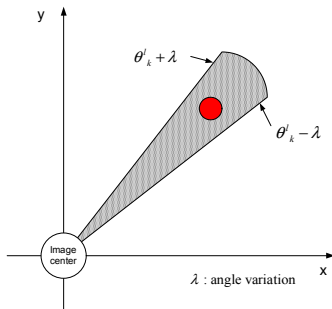
#### 2. 본론

전방향 비전 센서를 통한 로봇의 상대 각도를 추정하는 방법과 선형 위치 추정 알고리즘(Linear Position Estimation)을 이용하여, 실내 GPS(indoor GPS)와 비전 센서 융합을 통해서 로봇의 위치 추정 방법을 설명하고 실험 결과를 보여준다. 여기서 랜드 마크는 다른 이동 로봇에 부착된 로봇 표식이라고 가정하고 여러 대의 이동 로봇에 확장하는 개념으로 쓰일 수 있다.

##### 2.1 전방향 비전 센서와 랜드 마크를 이용한 로봇의 상대 각도 추정

전방향 비전(Omni-directional Mirror) 시스템에서는 랜드 마크와 로봇의 각도  $\theta_k^i$ , 랜드 마크 색상(R, G, B)값의 평균  $m_{k,color}$  과 공분산(covariance)  $\Sigma_{k,color}$  을 입력으로 정확한 로봇 상대 각도를 계산한다. 정확한 로봇 상대 각도의 추정을 위해서는 전방향 비전 이미지에서 각각의 로봇 영역을 인식한 후 각도를 추정하는 과정을 거친다.

로봇 영역을 인식하기 위한 첫 단계로, 랜드 마크를 구분해 내는 과정을 거친다. R, G, B 각각의 유클리드 거리(Euclidean Distance)의 합을 예러로 사용할 경우 표식의 색상 채널 간의 상관관계(correlation)와 스케일(scale)을 고려해 줄 수 없기 때문에  $m_{k,color}$ ,  $\Sigma_{k,color}$  를 통해 계산된 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance)를 이용한다. 마할라노비스 거리를 사용할 경우 채널 간의 상관관계를 고려하고 스케일에 무관한 거리를 구할 수 있다. 이를 통해 랜드 마크 색상이 조명등의 외부 영향에 의해 변하는 환경에서 좀 더 강한 인식 성능을 얻을 수 있다.



<그림 1> 전방향 비전 시스템 알고리즘 순서도

<그림 1>과 같이 마할라노비스 거리를 이용해 전방향 비전 이미지에서 예상 로봇 영역을 선택한다. 미리 정의된 임계값(Threshold Value)을 기준으로 마할라노비스 거리가 가까운 픽셀을 예상 랜드 마크 영역으로 선택한다. 선택된 예상 랜드 마크

영역은 입력된 로봇의 각도  $\theta_k^i$ 를 기준으로 각각의 랜드 마크로 분류된다. 예상 랜드 마크 영역에 속한 픽셀의 각도를 구하고 이 각도가 입력 로봇 각도의 범위 내에 있다면 그 픽셀은 해당하는 랜드 마크의 표식에 속한 픽셀로 인식된다. 이런 과정을 통해 전방향 비전 이미지에서 랜드 마크 영역을 추출할 수 있다.

$$\theta_{k,i}^i = \tan^{-1}(x_i - c)$$

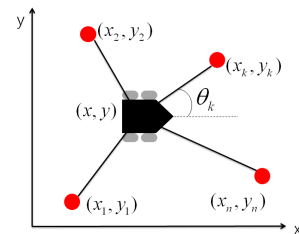
$$\theta_k^i - \lambda < \theta_{k,i}^i < \theta_k^i + \lambda$$

마지막으로 각각의 랜드 마크 영역에 해당하는 픽셀들의 중심 위치를 구하고 이를 각도로 변환해서 로봇 상대 각도를 얻는다.

$$\theta_{k,vision}^i = \tan^{-1}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i,true} - c\right)$$

##### 2.2 선형 위치 추정(Linear Position Estimation) 알고리즘

제안하는 선형 위치 추정 알고리즘(Linear position estimation algorithm)은 랜드 마크의 위치 (x, y)와 방향( $\theta$ ) 정보를 이용하여 자신의 위치를 추정하는 알고리즘이다. 여기서 랜드 마크는 다른 이동 로봇에 부착된 로봇 표식이라고 가정하고 여러 대의 이동 로봇에 확장하는 개념으로 쓰였기 때문에 랜드 마크들의 위치 (x, y) 역시 iGPS 센서로 값을 얻어 온다. <그림 2>와 같이 랜드 마크(다른 이동 로봇들)가 배치 되어있을 때, 자신의 위치 (x, y)는 상대방 로봇의 위치  $(x_k, y_k)$ 와 방향  $\theta_k$ 를 이용하여 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.



<그림 2> 로봇의 위치와 방향

$$x \sin \theta_k - y \cos \theta_k = x_k \sin \theta_k - y_k \cos \theta_k \quad (1)$$

그리고 식 (1)을 n개 로봇으로 확장하면 식 (2)와 같고,

$$\begin{pmatrix} \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 \\ \sin \theta_2 & -\cos \theta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \sin \theta_n & -\cos \theta_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta_1 \cdot x_1 - \cos \theta_1 \cdot y_1 \\ \sin \theta_2 \cdot x_2 - \cos \theta_2 \cdot y_2 \\ \vdots \\ \sin \theta_n \cdot x_n - \cos \theta_n \cdot y_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

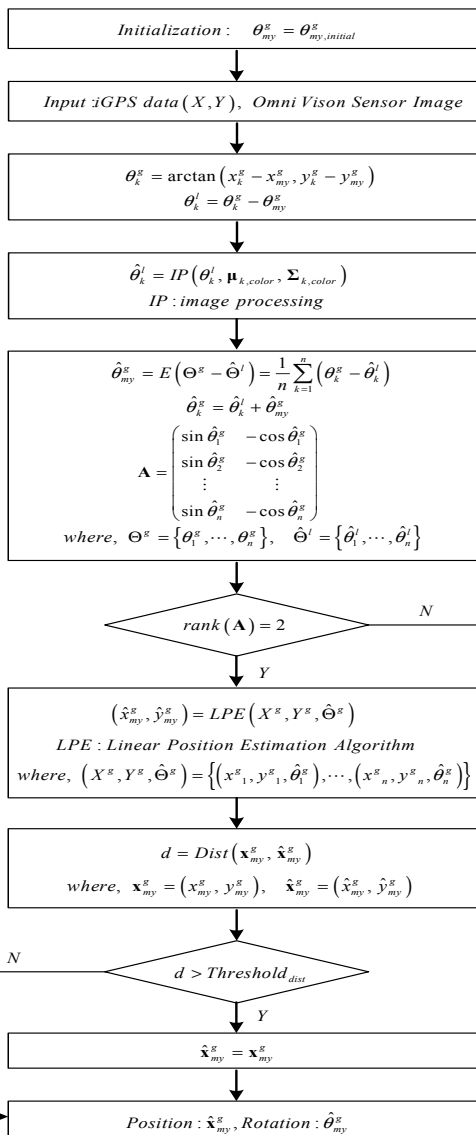
이는 Ax=b인 선형 방정식으로 표현할 수 있고, A 행렬의 계수(rank)가 2인 경우 아래 식 (3)과 같이 최소 오차를 갖는 근사해  $x^*$ 를 구할 수 있다.

$$\arg \min_x (\|Ax - b\|^2) \\ x^* = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (3)$$

##### 2.3 센서의 융합을 통한 로봇의 위치 추정

일반적인 iGPS는 월드 좌표계에 대한 위치 좌표 (x, y)를 제공한다. 하지만 이 센서는 비컨 사이 거리에 비례하는 거리오차를 발생하여 부피가 작은 로봇에게 있어서는 상대적으로 큰 오차가 된다. 이 문제를 보완하기 위해 아래 <그림 3>과 같이 iGPS와 보다 정확한 방향( $\theta$ )을 제공하는 전방향 비전 센서를 융합하여 iGPS에 비해 정확한 로봇 위치 값을 추정 하였다.

센서 융합 알고리즘은 현재 iGPS에서 제공하는 각 랜드마크의 위치 정보(x, y)와 전방향 비전 센서에서 제공하는 이미지를 입력으로 사용하여 로봇의 위치와 방향을 추정한다. iGPS 센서를 이용한 위치 정보를 바탕으로 상대 로봇의 월드 방향각( $\theta_k^w$ )과 로컬 방향각( $\theta_k^l$ )을 계산하고, 전방향 비전 시스템 알고리즘을 이용하여 각 로봇의 정확한 상대 각도를 계산한다. A 행렬의 계수가 2보다 작은 경우에는 LPE 알고리즘의 해가 의미 없는 경우이므로 2인 경우에만 선형 위치 추정 알고리즘을 이용하여 로봇의 위치를 추정한다. 추정된 로봇의 위치  $\hat{x}_{my}^g$ 와 iGPS에서 측정된 위치  $x_{my}^g$ 의 차이가 iGPS의 오차보다 크면 iGPS에서 측정된 로봇 위치를 사용한다.



<그림 3> 센서 융합 알고리즘 순서도

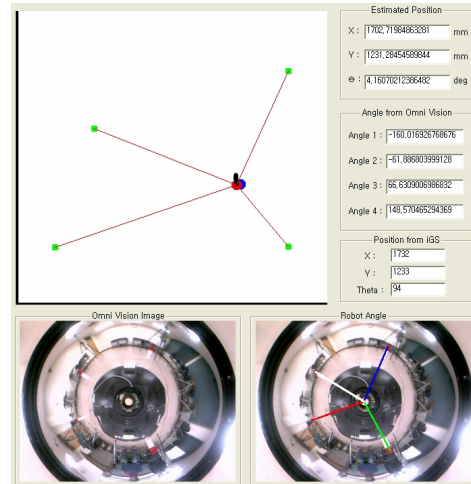
### 2.4 실험 결과

이동 로봇 실험 조건은 다음과 같다. iGPS 센서로는 (주)나인티 시스템에서 개발한 iGS-U를 사용하였다. 이 센서는 비전 4개과 태그 2개로 구성 되어 있다. 비전 사이의 거리가 5m x 5m 일 때 약 15cm 정도의 최대 오차를 보인다. 전방향 비전 센서는 ACCOWLE사의 포물선 형태의 전방향 거울과 Microsoft사에서 개발한 VX-6000 카메라를 이용하였다. 이동 로봇은 Active media사에서 개발한 pioneer 3를 이용하여 실내에서 절대좌표계 위에서 실험 하였다.

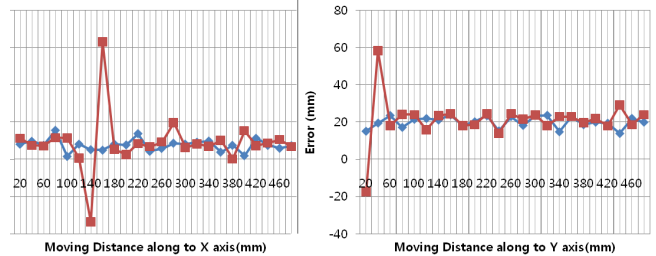
그 결과, <표 1>과 같이 iGS-U는 정밀도 15cm이내의 위치 결과가 나왔고 제안한 알고리즘은 4cm 이내의 위치 결과가 나와서 제안한 알고리즘을 통해 로봇의 위치추정 결과가 정확해 진 것을 확인할 수 있었다.

<표 1> 오차 범위 비교

	iGS	LPE System
최대 오차	15cm	4cm



<그림 4> iGS-U와 전방향 비전 센서를 이용한 실험



<그림 5> iGPS 단일 센서와 제안된 방법의 융합된 센서의 위치 추정 실험 결과

### 3. 결론

선형 위치 추정 알고리즘을 이용하여 iGPS 센서와 전방향 비전 센서를 융합한 위치 추정 기술을 개발하였다. iGPS 단일 센서를 통한 위치 정보 보다 오차가 작은 위치 추정을 보여 제안한 알고리즘이 로봇의 위치를 좀 더 정확하게 추정함을 확인할 수 있었다. 또한 랜드마크는 다른 이동 로봇에 부착된 로봇 표식이라고 가정하고 여러 대의 이동 로봇에 확장하는 개념으로 쓰일 수 있기 때문에 여러 대의 이동 로봇에도 적용 가능할 것으로 보인다.

### 4. 감사의 말

이 연구는 정보통신진흥연구원(ИТА)의 IT 핵심기술개발 사업의 도움을 받았습니다. (과제명 : 학습 및 진화를 통한 S/W, H/W적 재설계가 가능한 지능 로봇 기술 개발)

### [참고 문헌]

- [1] Margrit Betke and Leonid Gurvits, "Mobile Robot Localization Using Landmarks," IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL.13,NO.2, April 1997
- [2] Motilal Agrawal and Kurt Konolige, "Real-time Localization in Outdoor Environments using Stereo Vision and Inexpensive GPS," IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006
- [3] Francesca Calabrese and Giovanni Indiveri, "An Omni-vision Triangulation-like Approach to Mobile Robot Localization," Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2005
- [4] Stephen Se, David Lowe, Jim Little, "Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant Visual Landmarks," THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH, pp. 735-758, August 2002
- [5] DaeGeun Seo, JangMyung Lee, "Localization Algorithm for a mobile robot using iGS," Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, pp 742-747, Seoul, Korea, July 6-11, 2008