

# 이동로봇의 불확실성을 고려한 시각 랜드마크의 자동 추출

Automatic Extraction of Stable Visual Landmarks for a Mobile Robot under Uncertainty

°문인혁\*, 조강현\*\*, 윤형로\*

\* 연세대학교 의용공학과(Tel:82-33-760-2722; Fax:82-33-763-1953; Email:ihmoon@dragon.yonsei.ac.kr)

\*\* 울산대학교 제어계측공학과(Tel:82-52-259-2208; Fax:82-52-259-1686; Email:jkh@islab.ulsan.ac.kr)

\* 연세대학교 의용공학과(Tel:82-33-760-2850; Fax:82-33-763-1953; Email:hryoon@dragon.yonsei.ac.kr)

**Abstract :** In this paper, we propose a method to automatically extract stable visual landmarks from observed data for a mobile robot with stereo vision system. The robot selects as stable landmarks vertical line segments which are distinct and on planar surfaces, because they are expected to be observed reliably from various viewpoints. When the robot moves, it uses several, less uncertain landmarks for estimating its motion. Experimental results in real scenes show the validity of the proposed method.

**Keywords :** stable visual landmark, uncertainty, mobile robot, stereo vision

## 1 서론

로봇이 안전하게 목적지에 도착하기 위해서는 자신의 위치를 추정해야만 한다. 데드레커닝 주행은 이동과 관측의 불확실성(uncertainty)에 의해 위치의 불확실성이 커지게 되기 때문에, 랜드마크를 이용하는 네비게이션 수법이 많이 연구되었다.

위치와 방향 정보를 포함한 사인패턴과 같은 인공적 랜드마크를 이용한 방식이 있다[1]. 그러나 로봇의 자율성을 제한하고, 로봇의 주행 환경마다 인간이 관여해야 한다는 문제 있다. 그래서 환경에 존재하는 장해물 혹은 구조물의 에지와 같은 특징을 랜드마크로 하여 지도에 기입해 놓고, 주행 중 그 특징을 검출하여 위치 추정하는 수법이 제안되었다[8]. 그러나 에지 같은 특징은 관측 위치, 배경 혹은 조명 조건에 따라 관측이 불안정하게 될 수도 있다. 이 때문에 학습 단계에서 관측된 영상으로부터 점이나 선[2], 혹은 강한 명암의 변화가 존재하는 영역[3]과 같은 자연상의 특징을 관측에 안정한 랜드마크로서 선택하고, 주행 단계에서 관측하여 위치를 추정하는 방식이 있다. 그러나 학습 단계와 주행 단계 간의 환경의 변화가 있을 경우 적용하기 어렵고, 학습과 주행이라는 2단계가 필요하다. 최근에는 랜드마크 없이 레이저 레인지 파인더를 이용하여 현재의 위치에서 장해물 까지의 거리를 측정하여 장해물 지도(occupancy map)와 매칭해서 위치 추정하는 수법이 제안되었다[4]. 하지만 레이저 레인지 파인더는 1차원적인 라인 스캔 방식이기 때문에 테이블과 같은 쉽게 검출되지 않는 장해물이 존재할 경우 혼동할 가능성이 있다.

본논문에서는 장해물 지도가 주어졌을 때 스테레오 시각을 가진 이동로봇이 관측 위치의 변화에도 시각 관측에 안정한 특징을 로봇의 이동과 관측의 불확실성을 고려하여 온라인에서 자동적으로 추출하고, 랜드마크로서 모델링하는 수법을 제안한다. 장해물의 가장자리의 에지보다는 장해물의 수직 평면의 안쪽 영역에 존재하는 특징이 관측 위치의 변화에도 안정하기 때문에[5], 수직 평면을 참조 평면(reference plane)으로 해서 그 평면에 해당하는 영역을 시각 관측으로부터 검출하고, 그 영역에 속하는 수직 세그먼트를 시각 랜드마크로서 선택한다. 그러나 로봇의 이동과 관측의 불확실성에 의해 선택된 세그먼트의 상태(위치와 길이)가 불확실하다[6]. 이것은 지도의 참조 평면 정보와, 관측된 장해물 정보를 매칭함으로써 확률적 분포를 가지는 상태로서 추정이 가능하다. 로봇은 이동할 때, 관측 위치의 변화에 더불어 시선을 능동적으로 제어해서 선택된 랜드마크를 연속적으로

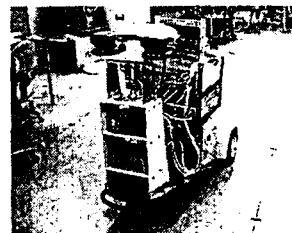


그림 1: Mobile robot.

로 관측한다. 관측 정보의 처리는 이동과 관측의 예측을 바탕으로 불확실성을 고려해서 전체의 관측 영상을 처리하지 않고, 랜드마크의 탐색 영역을 정하여 특정의 랜드마크만을 관찰한다. 관측 결과는 칼만 필터를 이용하여 통합하고, 로봇과 랜드마크의 상태를 동시에 추정한다. 그림 1은 본 연구에서 이용된 스테레오 시각을 가진 전륜스티어링의 3륜 이동로봇이며, 실내 환경에서의 실험의 결과로 부터 제안된 수법의 유효성을 보인다.

## 2 불확실성의 모델링

### 2.1 영상에서의 수직선 세그먼트의 불확실성

3차원 공간상의 1점이 영상에 관측되었을 때, 양자화 오차에 의해 관측된 위치는 불확실성을 가지고, 우리는  $\sigma_{pixel} = 0.5[\text{pixel}]$ 의 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 수직선 세그먼트가 영상에서 직선이라고 가정하면, 영상에서 수평 위치의 불확실성은 수직선 세그먼트를 구성하는 픽셀 수에 반비례 한다[6]. 본 연구에서는 교정 오차를 고려해서 수직선 세그먼트의 수평 위치의 불확실성을  $\sigma_{pixel}$ 라고 한다.

### 2.2 관측된 위치의 불확실성

높이를 고려하지 않은 3차원 공간상의 점  $m = [m_x \ m_y]^T$  이 로봇의 상태(위치, 자세, 시선 방향)  $x = [x \ y \ \theta \ \phi]^T$ 에서 스테레오 시각으로 관측할 때, 스테레오 영상에서의 수평 위치  $i = [x_l \ x_r]^T$ 는 로봇과 점의 위치 관계와 스테레오 관측 기하로부터 비선형식으로 나타낼 수 있다[8].

$$i = J(x, m) \quad (1)$$