

단일 카메라와 PSD 센서를 이용한 로봇 위치추적 및 맵핑 시스템

유성구, 정길도
전북대학교 전자정보공학부

Localization and Mapping System using Single Camera and PSD Sensors

Sunggoo Yoo, Kil To Chong
Chonbuk National University Electronic and Information Department

Abstract - 로봇의 현재 위치 추적은 무인 로봇 자동 항법시스템의 중요 기술로 센서 데이터로부터 로봇의 위치를 결정하고 환경맵을 구성하는 것이다. 기존 방법으로는 초음파, 레이저 등의 거리 측정 센서를 이용해 로봇의 전역 위치를 찾는 방법과 스테레오 비전을 통한 방법이 개발되었다. 거리 측정 센서만으로 로봇위치 추적 알고리즘은 계산량이 감소하고 비용이 적게 들지만 센서오차 및 환경장애에 따른 오류가 크다. 이에 반해 스테레오 비전 시스템은 3차원 공간영역을 정확히 측정할 수 있지만 계산량이 많아 고사양의 시스템을 요구하고 알고리즘 구현에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 단일 카메라 영상과 PSD(position sensitive device) 센서를 사용하여 로봇의 현재 위치를 추적하고 환경맵을 구성하여 자율이동이 가능한 시스템을 제안한다.

Key Words -Localization, Mapping, vision

1. 서 론

로봇 기술이 발달함에 따라 단순 반복 기능의 산업 로봇에서, 인간의 일상생활에 도움을 주는 서비스 로봇, 엔터테인먼트 로봇으로 발전하고 있다. 이러한 로봇들은 필수적으로 자율이동(Autonomous Navigation)기능을 탑재하고 있어야 한다. 자율이동이란, 로봇 스스로 현재위치를 파악하고 목적지까지 경로추적을 통해 이동하는 기능을 말한다.

로봇의 위치파악 방법에는 크게 실외와 실내로 나눌 수 있는데, 실외의 경우 GPS, DGPS와 같은 위성항법장치를 통해 위치를 파악하며, 실내의 경우 전역초음파시스템이나 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)을 활용한다. 본 논문에서는 SLAM을 활용하여 자율이동로봇을 구성하였다. SLAM은 로봇이 주행하는 동안 얻은 관찰과 제어신호를 가지고 주행한 환경을 지도화하며 동시에 자신의 절대 위치를 추정하는 것이다[1]. SLAM을 할 때 주변 환경에 대한 정확한 정보는 매우 중요하다. 환경관측의 정확성, 데이터 처리 과정 및 시간 등이 주요 요소라고 할 수 있다. 기존의 많은 SLAM 알고리즘은 관측시스템으로 센서를 사용하였다. Crowley[2]는 칼만 필터형태 알고리즘을 사용하여 초음파 기반 자율이동 로봇을 제안하였고, Nuchter[3]는 LRF센서를 적용한 다차원 맵핑을 제안하였다. 이러한 센서기반 방법은 센서잡음에 민감하고 맵 구성시 점이나 선과 같은 간단한 기하학적인 원소로 표현하기 때문에 한 번의 관찰로는 전체 맵의 대응 관계를 찾는 것은 어렵다. 따라서 비전 기반 센서를 이용해 대응 관계를 찾는 연구가 수행되었다. Stephen[4]은 영상에서 랜드마크를 찾아 맵을 갱신하고 대응관계를 찾는 방법을 제안하였고, Davison은 단일 카메라를 낮은 속도로 이동하여 특징점을 찾는 방법을 제안하였다. 하지만 오직 비전 기반의 추적 형태 대응관계를 구해 지도를 갱신하면 지도를 밀집하게 표현하여 가려짐 같이 추적을 잃은 상황에서 대응관계를 찾을 수 없다. 이를 해결하기 위해 Lowe는 연속영상에서 인접한 프레임 상의 특징량을 추출하는 방식으로 접근하였다. 그리고 Thrun은 스테레오 영상으로부터 3D 특징량을 추적하여 대응관계를 찾는 방법을 제안하였다. 하지만 위의 방법은 데이터 처리량이 많기 때문에 로봇의 이동 속도를 보장하기 어렵고 고사양의 제품 사양을 요구하기 때문에 경제적인 측면에서도 불리하다. 따라서 본 논문에서는 정밀도가 높은 PSD(Position Sensitive Device) 센서와 단일 카메라를 사용하여 기존의 단점을 보완한 시스템을 구현하고 성능을 검증하였다. 로봇 전방에 45도 각도로 5개의 PSD 센서를 장착하였으며 30fps 성능의 1394카메라를 장착하였다. 센서로부터 일정거리 안의 장애물이 발견되면 카메라로부터 전방 영상을 획득하고 특징점 처리를 통해 장애물의 크기와 위치를 확인한다. 센서정보와 영상정보로부터 확률분포 SLAM 기법을 통해 주변 환경지도를 갱신한다. 이를 위해 실제 이동 로봇을 제작하였으며 밀폐된 공간에서 장애물을 설치하여 로봇을 자율 이동시켜 성능을 검증하였다.

2. 로봇 모델 및 시스템 구성

2.1 모바일 로봇 시스템

5개의 PSD 센서를 전면에 장착하였으며, 두 개의 BLDC모터를 장착하여 로봇의 이동을 제어하며 중앙에 제어를 설치하였다. 각 바퀴에는 엔코더를 장착하여 SLAM의 제어기 입력으로 사용하였다. 앞과 뒷면의 바닥에는 유니디렉셔널바퀴를 장착하여 모바일 로봇의 자율 이동이 가능하도록 하였다. 로봇의 모델링 방식식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 x, y 는 로봇의 중점의 위치, θ 는 축을 기준으로 한 목표지점간의 각도를 나타낸다. 선형 속도 v 와 각속도 w 는 다음과 같다.

$$v = \frac{v_l + v_r}{2}, \quad w = \frac{v_l - v_r}{D} \quad (2)$$

여기서 v_l 과 v_r 은 각각 좌측 바퀴와 우측 바퀴의 속도를 나타내며, D 는 두 바퀴간의 거리를 나타낸다.

2.2 SLAM 시스템 구성

SLAM을 구현하기 위한 전체 시스템 구성은 그림 1과 같다. PSD 센서로부터 일정각도 안에 장애물이 발견될 시 카메라로부터 영상을 받고 영상처리를 통해 장애물의 특징을 추출해 낸다. 센서데이터와 영상데이터를 이용해 맵을 갱신한 후 이전 위치와 현재의 엔코더데이터를 이용하여 위치 보정을 실행한다. 로봇의 이동에 따라 위의 과정을 반복하여 전체 맵을 구성한다.

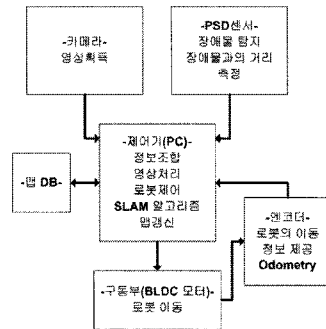


그림 1. 시스템 구성도

제어 시스템은 LABVIEW 7.0을 이용하여 구성하였다. DAQ보드를 이용하여 센서정보와 엔코더 정보를 획득하며 NI Vision Builder를 사용하여 영상처리를 구현하였다. 제어프로그램의 전체적인 구성은 그림 2와 같다.

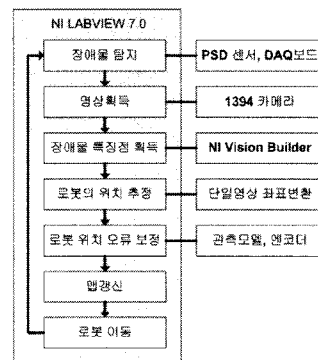


그림 2. 제어프로그램 순서 및 구성

3. 영상시스템과 위치 관계

본 논문에서는 센서정보를 이용하여 영상에서 장애물을 찾고 특징점 처리를 통해 장애물의 가로 크기만을 측정한다. 이는 맵의 구성을 2차원으로 하기 때문에 복잡하게 모든 영상의 윤곽선 검출을 시행하지 않고 영상에서 장애물을 탐지한 부분에서만 검출을 시행한다. 이는 영상처리 시간을 줄일

수 있고 시스템의 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

로봇이 초기위치에서 이동시 엔코더를 사용하여 로봇의 좌표를 구할 수 있다. 하지만 바퀴의 슬립이나 충돌로 인해 좌표오류가 발생한다. 이를 보정하기 위해 영상으로부터 장애물과의 거리를 측정하여 엔코더 정보를 보완한다. 일반적으로 물체와의 거리를 계산하는 데는 2개의 카메라를 사용해 각각의 카메라에서 얻어진 영상을 비교하여 거리를 계산한다. 이러한 거리 측정 방식을 스테레오 비전방식이라고 하는데, 스테레오 비전 방식은 연산 시간이 오래 걸려 실시간으로 장애물을 인식하고 회피하는데 불리하다. 따라서 본 논문에서는 단일 카메라를 사용하여 연산시간을 줄이고 물체와의 거리를 계산하였다. 단일 카메라로부터 3차원 공간상의 좌표를 계산하기 위해 모든 물체는 바닥에 접하고 있다고 가정하여 2차원 평면공간으로 해석하였다.

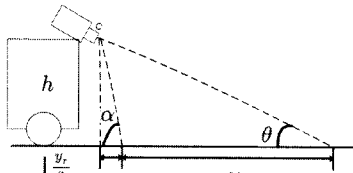


그림 3. 좌표변환 측면

그림 3과 4는 좌표변환 방법을 도시한 내용으로, 바닥에서 카메라까지의 높이 h , 로봇 앞부분에 존재하는 사각 지역의 거리 y_b , 카메라에서 보이는 y 축 방향의 거리 y_i , x 축 방향의 거리 x_i , 위의 네 가지 요소를 이용하여 α, β, θ 각을 구할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h}{y_b}\right) \quad (3)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{y_b + y_i}\right) \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_b + y_i}{h}\right) \quad (5)$$

위의 각을 통해 영상기반의 좌표를 이동로봇 기반 좌표로 변환할 수 있다.

$$y = \frac{h}{\tan\left(\theta + \frac{y_p(\alpha - \theta)}{y_s}\right)} + \frac{y_r}{2} + y_b \quad (6)$$

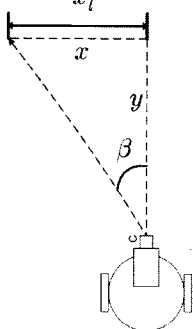


그림 4. 좌표변환 옆면

여기서, y_p 는 영상에서 y 의 픽셀 개수이며, y_s 는 y 축 전체 픽셀 개수이다. y_r 은 로봇의 y 축 길이이다. 또한 x 좌표는 식(7)을 이용하여 구할 수 있다.

$$x = \tan\left(\frac{\beta(1 - 2x_p)}{x_s}\right) \times y \quad (7)$$

여기서, x_p 는 x 의 픽셀 개수이며, x_s 는 x 축 전체 픽셀 개수이다. 식(6)과 (7)을 이용하여 로봇의 좌표 (x, y, θ) 를 구할 수 있다.

4. 실험 및 결과

본 연구를 위해 제작한 로봇은 2장에서 언급하였듯이 2-wheel 모바일 로봇이며, 1m~5m 와 20cm~150cm의 거리 측정이 가능한 PSD 센서를 조합하여 사용하였다. 카메라는 ptgrey사의 Dragonfly®2 로 1024 × 768의 해상도와 30FPS(Frame per Second)의 성능을 가지는 1394전용 카메라이다. 제어기 프로그램은 NI사의 LABVIEW 7.0을 통해 구현하였고, 영상 획득 및 처리는 NI사의 Vision Builder 3.0을 사용하여 구현하였다. 그림 5는 센서로부터 로봇을 회전시키면서 장애물을 감지하였을 경우 Vision Builder를

사용하여 장애물의 크기와 특징을 추정하는 과정을 보여준다. 이를 통해 장애물의 크기정보와 거리정보를 지도정보에 갱신한다.

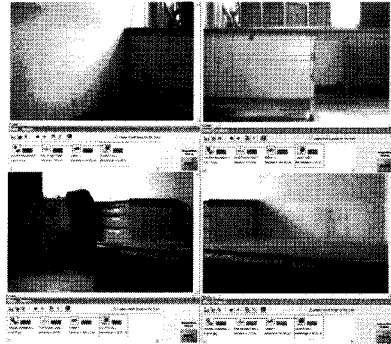


그림 5. Vision Builder를 이용한 장애물의 크기 측정

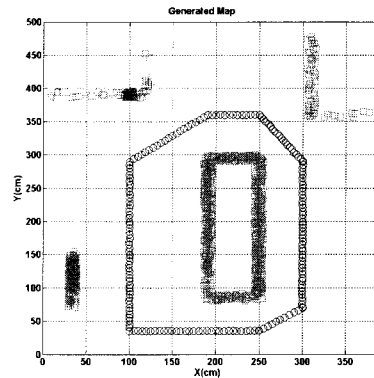


그림 6. 로봇 이동에 따라 생성된 지도

그림 6은 로봇을 이동 동선에 따라 한 바퀴를 이동한 후의 실제 이동선과 지도를 보여준다. 검은색 원으로 표시된 라인은 로봇의 이동모습을 보여주며 사각형으로 표현된 것은 장애물의 정보를 표시한다.

지도의 장애물위치 오차평균은 약 10cm 정도로 로봇이 이동 횟수가 많아질수록 오차는 줄어든다. 지도에서 진하게 표시된 장애물은 확률분포가 높은 영역을 표시한다. 만약 이동 횟수를 증가한다면 높은 확률분포영역의 연결을 통해 정확한 지도를 생성할 수 있다. 하지만 좀 더 영역이 크고 복잡한 환경에서 SLAM을 실행할 경우 지도정보가 커짐에 따라 시스템의 처리 시간이 길어질 수 있는 단점이 발생할 수도 있다. 따라서 일정 시간이 지난 후 일정 확률분포이상만을 가지는 특징점만을 추출하여 이를 통해 최종 지도를 생성해야 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 거리측정센서인 PSD 센서와 단일 영상으로부터 특징점을 추출하여 환경맵을 작성하고 로봇의 위치인식이 가능한 SLAM 시스템을 구현하였다. 초음파센서에 비해 외란이 적고 LRF(laser range finder)에 비해 비용이 저렴한 PSD 센서를 사용하였고, 단일 카메라를 사용하여 기존 스테레오 비전 시스템의 긴 처리시간 및 높은 사양을 대처하였다. 영상위치 획득 알고리즘과 확률분포 SLAM을 적용하여 지도생성과 위치인식 시스템을 설계하였으며, LABVIEW 7.0과 VISION BUILDER 3.0을 사용하여 제어프로그램과 영상처리시스템을 제작하였다. 로봇 회전 및 이동 실험을 통해 지도획득 성능 및 위치인식 시스템을 검증하였다. 이를 통해 경제적이면서 효율적인 SLAM 시스템을 구현할 수 있음을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hugh Durrant-Whyte, Tim Bailey, "Simultaneous Localization and Mapping: Part 1," IEEE Rob. and Aut. Magazine, pp 99-108, June 2006.
- [2] J. Crowley, "World modeling and position estimation for a mobile robot using ultra-sonic ranging," Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., 1989, pp. 674-681, AZ, USA, May 1989.
- [3] Andreas Nuchater, Hartmut Surmann, and Sebastial Thrun, "6D SLAM with Application in Autonomous Mine Mapping," Proc. IEEE 2004 Int. conf. Robo. Automat., New Orleans, USA, April 2004.
- [4] Stephen Se, David Lowe, Jim Little, "Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant visual Landmarks," The Int. Journal on Robotics Research, Vol. 21, No. 8, pp. 735-758, August 2002.