

다중센서를 이용한 모바일 로봇의 자기위치 인식

김영백
경남대학교 컴퓨터공학과
e-mail:baroaleum@nate.com

Self-Localization of Mobile Robot Using Multi-Sensor

Young-Baek Kim
Division of Computer Science and Engineering, Korea-Kyungnam University

요 약

모바일 로봇이 자기 역할을 수행하기 위해서는 자기위치인식 기술이 반드시 필요하다. 이
에 본 논문에서는 기존 초음파 센서만을 이용한 위치인식 기술의 난제와 카메라 즉, 영상처
리만을 이용한 위치 인식 기술의 난제를 두 가지 기술의 융합으로 쉽게 해결할 수 있도록
한다.

키워드 : 초음파 센서, 영상처리, 모바일 로봇, 위치인식

I. 서론

컴퓨터의 활용은 기술의 발전에 따라 과거 산업환경에서 반복 작업만을 하는것이 아니라 스스로 환경을 인식하고 행동하는 지능형 로봇과 네트워크를 기반으로 하는 유비쿼터스 로봇에까지 광범위한 분야에 이르게 되었다[1]. 특히 모바일 로봇은 이동능력을 바탕으로 사용 및 적용범위가 다양해지고 있다. 청소용 로봇, 박물관 안내 로봇, 위험물 처리 로봇과 같은 로봇들이 최근 모바일 로봇이 활용된 사례이다. 이러한 모바일 로봇들이 자기 역할을 다 하기 위해서는 기본적으로 스스로 상황을 인식하고 판단할 수 있어야 하는데 모바일 로봇에 있어서 자기 자신의 위치를 인식하는 것은 가장 우선적으로 이루어져야 할 과제이다.

모바일 로봇의 자기위치인식을 위한 기법으로는 초음파 센서를 이용한 방법과 카메라를 이용하여 얻은 영상을 이용하는 방법이 주로 사용된다. 하지만 이러한 방법들은 모바일 로봇의 적용하는데 있어서 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

초음파 센서를 사용하여 비콘과 리스너의 거리를 입력받

아 삼각 측량법을 통하여 위치를 인식하는 방법은 초음파 센서를 사용하는데 있어서 오는 난제가 포함되어 있다. 즉, 적어도 비콘이 3개 이상 있어야 삼각 측량법을 통하여 위치를 계산 할 수 있는데 이들이 각각 초음파를 쏘다보니 리스너가 이 초음파를 인식하는데 있어서 오인식이 찾아진다. 왜냐하면 초음파가 직선으로 날아와 바로 인식하면 좋지만 날아오는 과정에서 벽이나 장애물에 의하여 바운딩 된 초음파를 다른 비콘이 보낸 초음파로 오인식 할 수 있다는 것이다. 그리고 다수의 비콘들이 있어야 넓은 범위를 커버 할 수 있으므로 이러한 오인식은 더욱 증가한다.

카메라를 통하여 획득한 영상을 이용한 방법은 기본적으로 정확한 카메라 캘리브레이션이 이루어져야 하며 정확한 계산을 위해서는 높은 해상도의 이미지를 요구하게 된다. 즉, 마커를 이용하여 위치를 인식 하기 위해서는 캘리브레이션 과정을 수행하고, 마커에 대한 ID와 위치등을 인식하기 위하여 높은 해상도의 이미지에서 작업해야지만 정확한 계산이 이루어진다는 것이다. 하지만 아직까지 모바일 로봇에 장착된 프로세서는 일반 PC에 비해 퍼포먼스가 현저히 떨어지기 때문에 일반적인 영상 처리 기술을 적용하기 힘들다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 마커를 인

식하기 쉬운 단순한 모양으로 만들어서 저해상도의 영상에서도 마커를 검출할 수 있도록 하고, 단순한 마커로는 계산이 힘든 마커의 ID와 마커와 로봇의 거리는 하나의 크리켓 센서를 이용하여 얻음으로써 모바일 로봇이 자기위치를 인식할 수 있도록 한다.

II. 관련 연구

미국 MIT에서는 초음파 센서만을 이용한 SLAM 알고리즘을 개발하였다(2). 이 알고리즘의 위치인식 오차는 100m 주행 시 약 40cm정도이다. 저가의 초음파 센서들만으로도 구현이 가능하지만, 부정확성으로 인한 한계로 정적이면서도 직선으로 이루어진 환경에서만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

MIT의 다른 실험실에서는 레이저 센서를 이용하여 사람들이 움직이고 있는 실내 환경에서 위치인식과 지도형성을 동시에 수행하는 알고리즘을 개발하였다(3). 이 알고리즘은 100m 주행 시에도 위치오차가 2cm 정도이지만, 고가의 레이저 센서를 사용한다는 단점을 가지고 있다.

CMU에서는 16개의 초음파 센서만을 이용하여 위치인식과 지도형성 그리고 자율주행을 동시에 수행하는 알고리즘을 제안하였다(4). 이 알고리즘은 직선으로 형성된 복도환경에서 적용이 가능하며, 복도의 형상자체를 landmark로 사용하고 있다. 그러나 이 알고리즘은 정적이고 주변이 직선으로 구성된 환경에서만 적용이 가능하며, 잘못된 한 순간의 센서 입력으로 인해 전체 알고리즘이 실패할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

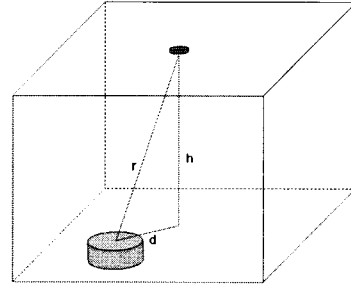
CMU의 다른 연구실에서는 확률적 계산방법을 이용하는 강인한 위치인식 알고리즘을 개발하였다(5). 이 알고리즘은 사람이 많은 환경 속에서도 강인하게 동작하며, 실제 미국의 Smithsonian 박물관에서 안내용 로봇의 위치인식 알고리즘으로 사용되기도 하였다. 하지만 이 알고리즘을 구현하기 위해서는 정확한 지도를 미리 알고 있어야 한다는 것과, 1개 이상의 레이저 센서를 사용해야 한다는 단점이 있다.

KAIST의 연구팀은 카메라 영상처리기술을 이용하여 인공적인 landmark를 감지함으로써, landmark에 대한 상대적인 위치를 인식하는 위치인식 알고리즘을 성공적으로 개발한 바 있다(6). 하지만 이 방법은 인공적인 landmark를 사용해야 한다는 것과, 로봇과 landmark 사이의 거리가 멀어질수록 위치 오차가 증가한다는 것, 그리고 어두운 환경에서는 사용될 수 없다는 단점을 가지고 있다.

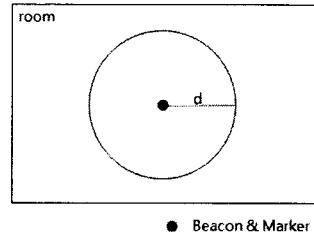
III. 모바일 로봇의 자기위치 인식

모바일 로봇의 자기위치 인식을 위해 본 논문에서 제안하는 시스템은 우선 크리켓 센서를 이용하여 그림 1의 r 의 값을 얻고 r 과 미리 측정된 모바일 로봇에서 천정까지의 거리 h 를 이용하여 d 값을 얻는다. 이렇게 하면 그림 2와 같이 비콘

의 위치를 중심으로 하는 반지름이 d 인 원의 방정식을 얻을 수 있다.



(그림 1) 크리켓 센서를 이용한 거리 계산



(그림 2) 예상 가능한 모바일 로봇의 위치

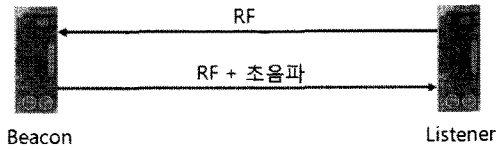
이렇게 하면 일단 모바일 로봇의 위치가 그림 2의 원 어딘가에 있다는 것은 알 수 있다. 하지만 정확히 원 어느 위치에 모바일 로봇이 위치하는지는 알 수 없으므로 이를 해결하기 위하여 그림 3과 같이 비콘의 위치에 마커를 부착하여 카메라를 통하여 획득된 영상에서 이 마커를 인식 할 수 있도록 한다. 그리고 인식된 마커의 위치를 이용하여 영상의 중심에서 마커가 x , y 축으로 얼마만큼 떨어져 있는지 알아내고, 크리켓 센서를 이용하여 얻은 d 값과 영상의 중심에서 마커까지의 거리를 매칭시켜 실제로 모바일 로봇이 마커 및 비콘의 위치로부터 x , y 축으로 얼마만큼 떨어져 있는지 상대 좌표를 얻음으로써 자기 자신의 위치를 인식 할 수 있다.



(그림 3) 실험실 천정에 부착된 마커

3.1 크리켓 센서를 이용한 마커와 모바일 로봇의 거리 계산

크리켓 센서를 이용한 기본적인 거리 계산은 그림 4와 같다.



(그림 4) 크리켓 센서의 작동 방식

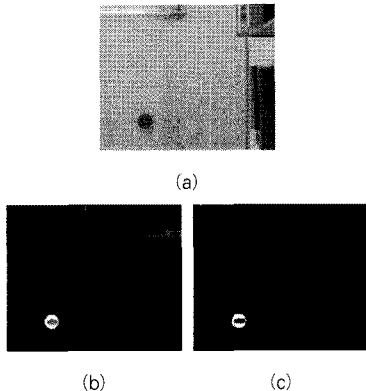
먼저 리스너가 비콘에게 RF신호를 보내면, 이 신호를 받은 비콘은 RF신호와 초음파 신호를 동시에 보낸다. 그러면 리스너는 두 개의 신호를 받아서 두 신호의 시간차를 이용하여 비콘과의 거리를 계산한다. 이렇게 거리를 계산하기 위해서는 우선 초음파의 속도 계산식을 알아야 하는데 계산식은 식 (1)과 같다.

$$v(m/s) = 331.5 + 0.60714 T \dots\dots\dots (1)$$

여기서, v는 속도, T는 온도이다. 온도를 20°라 가정하면 초음파의 속도는 343m/s이다. 따라서, 비콘과 리스너의 거리는 타이머에 의해 계산된 시간(sec)에 343을 곱하여 얻을 수 있다. 하지만 리스너로부터 받은 거리 정보를 분석해보면 거리를 계산하는 과정에서 비콘으로부터 보내진 초음파를 리스너가 수신하지 못하거나 하는 등의 문제로 스파이크성 여러 데이터가 종종 발생하였다. 그래서 이러한 여러 데이터를 걸러내기 위하여 본 논문에서는 5번의 측정 데이터를 받아 미디언 값을 취해 실제 거리 데이터로 사용한다.

3.2 영상내의 마커 검출

마커를 검출하기 위하여 그림1의 (a)와 같이 영상을 획득한다. 다음으로 획득된 영상으로부터 마커를 검출하기 위하여 마커에 해당하는 색상 영역을 모델링하고 모델링 된 색상과의 유사도를 통하여 그림1의 (b)와 같이 Intensity 영상을 얻는다. 이렇게 얻어진 영상은 계산의 간략화를 위하여 그림1의 (c)와 같이 임계값을 적용하여 이진화를 시키고 blob 분석을 통하여 마커의 중심 좌표를 찾는다.



(그림 5) 영상 처리를 이용한 마커 검출

3.3 위치 인식

모바일 로봇의 실제 좌표를 얻기 위해서는 크리켓 센서를 이용해 얻어진 그림1의 d값과 카메라를 통해 입력받은 영상을 처리하여 얻어진 마커의 좌표값 이 두가지 데이터가 필요하다. 왜냐하면 영상처리를 통하여 얻어진 좌표값은 실제 거리(cm)가 아닌 픽셀 단위의 거리이기 때문이다. 따라서 픽셀 단위의 좌표값을 실제 거리의 좌표값으로 바꾸기 위해서 픽셀당 거리(cm)를 구한다. 픽셀당 거리를 구하기 위한 식 (2)는 다음과 같다.

$$P = \frac{d}{\sqrt{x^2 + y^2}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, P는 영상내 1 픽셀당 거리(cm)를 나타내고, d는 마커가 있는 위치의 지면에서 모바일 로봇이 있는 위치까지의 거리, x, y는 영상의 중심에서 마커의 중심까지의 x, y에 대한 각 픽셀수이다. 이렇게 구해진 P에 x, y를 곱함으로써 마커의 위치에 대한 모바일 로봇의 상대위치를 구하고 마커의 위치를 옴셋값으로 하여 더해줌으로써 실제 모바일 로봇의 위치를 인식한다.

IV. 실험 및 결과 분석

본 논문에서는 천정에 카메라를 통해 인식할 수 있는 컬러 마커와 함께 크리켓 센서(beacon)를 부착하고 모바일 로봇에 해당하는 컴퓨터에는 크리켓 센서(listener)와 카메라를 설치하여 위치 인식을 실시하였다. 제안된 알고리즘은 hybus사의 크리켓 센서, CIS 사의 VCC-8350A 카메라를 이용하여 펜티엄 PC에서 실험되었다. 실험은 마커 및 크리켓 센서가 설치된 위치에서 30cm, 50cm, 1m 떨어진 위치에 실험 장비를 두고 오차를 측정하였으며 실험 결과는 표1과 같다.

(표 1) 실험 결과

단위: cm

위치	최대 오차	평균 오차
30	6.13	1.77
50	3.97	0.85
100	2.21	0.6

표 1의 실험 결과에서 보면 위치가 가까울수록 오차가 크고 멀어질수록 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이것은 크리켓 센서에서 들어오는 거리정보의 오차에서 기인한다. 왜냐하면 크리켓 센서에서 들어오는 거리정보의 오차가 거리가 가까우면 가까울수록 더 많은 영향을 주기 때문이다. 그리고 전체적으로 보았을 때는 평균 오차 범위가 ±2cm 정도이지

만 50cm 이상 떨어진 곳에서는 평균 오차 범위가 ± 1 cm 미만으로 만족할만한 결과를 보였다.

V. 결론

모바일 로봇은 다양한 활용성으로 인하여 여러 분야에서 활용되고 있는데 이러한 모바일 로봇이 제 역할을 다 하기 위해서는 자기위치 인식이 필요하다. 이에 본 논문에서는 다중 센서를 이용한 모바일 로봇의 자기위치 인식 방법을 제안하고 구현 하였다.

모바일 로봇의 자기 위치를 인식하기 위하여 크리켓 센서로부터 거리정보를 받아 피타고라스 정리를 이용하여 간단하게 2차원 거리를 구하고, 비전 기술을 통해 마커를 인식하고 화면상의 스크린 좌표계를 구한 뒤 앞에서 구한 거리 정보를 이용하여 실제 모바일 로봇의 위치를 인식하는 방법을 사용하였으며 50cm 이상 떨어진 위치에서는 ± 1 cm 미만의 평균 오차 범위를 가지는 위치 인식 성능을 보였다.

제안하는 방법은 초음파 센서 혹은 비전 기술만을 사용했을 때 오는 난제를 두 기술의 상호 보완적인 요소를 이용하여 융합시킴으로서 그러한 난제들을 풀지 않고도 해결할 수 있도록 하였는데 이로 인해 복잡한 연산이나 필터링을 거칠 필요가 없으므로 PC보다 하드웨어 사양이 낮은 모바일 로봇에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

localization." IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol 17, no.2, pp. 125-137, 2001.

- [5] S. Thrun, D. Fox, W. Burgard and F. Dellaert, "Robust monte carlo localization for mobile robots," Artificial Intelligence, vol. 128, pp. 99-141, 2001.

참고문헌

- [1] Ren C, Luo, Kuo L. Su, Shen H. Shen and Kuo H. Tsai, "Networked intelligent robots through the internet: issues and opportunities," in Proc. the IEEE, vol. 91, Issue 3, pp. 371-382, March 2003.
- [2] J. D. Tardos, J. Neira, P. M. Newman and J. J. Leonard, "Robust mapping and localization in indoor environments using sonar data," International Journal of Robotics Research, vol.21, no.4, pp. 311-330, 2002
- [3] P. Newman, J. Leonard, J. D. Tardos and J. Neira, "Explore and return : experimental validation of real-time concurrent mapping and localization," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1802-1809, 2002.
- [4] H. Choset and K. Nagatani, "Topological SLAM toward exact localization without explicit