미지의 환경 지도 작성을 위한 이동 로봇 시스템의 설계와 구현

정보영*, 남상하*, 이준수*, 김인철**
*경기대학교 컴퓨터과학과 학부생
**경기대학교 컴퓨터과학과 교수
e-mail:{jby88, namsh, junsoo, kic}@kgu.ac.kr

Design and Implementation of A Mobile Robot System for Mapping Unknown Environments

Bo-Young Jeong*, Sang-Ha Nam*, Jun-Soo Lee*, In-Cheol Kim**
*Undergraduate Course, Dept of Computer Science, Kyonggi University
**Faculty, Dept of Computer Science, Kyonggi University

요 약

본 논문에서는 센서 데이터의 불확실성을 고려한 효과적인 점유 격자 지도 작성 방법을 제안하고, Lego Mindstorm NXT Kit과 leJos NXT를 이용하여 개발된 환경 지도 작성을 위한 자율 이동 로봇 시스템의 설계와 구현에 대해 소개한다. 그리고 제안된 점유 격자 지도 작성 방법의 효과와 성능을 확인하기 위한 실험 결과도 소개한다.

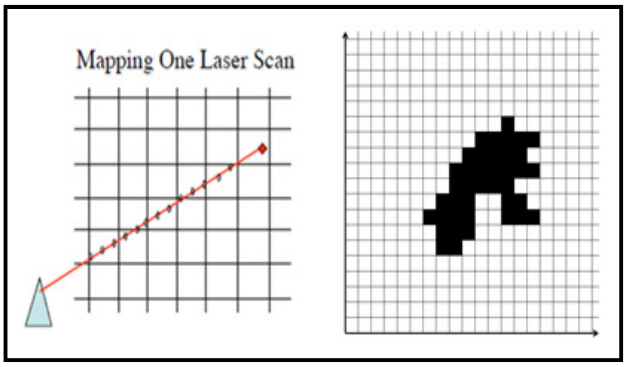
1. 서론

자율 이동 로봇은 주어진 환경 내에서 자신의 위치를 파악(Localization)할 수 있어야 할 뿐 아니라, 이전에 경험하지 못한 새로운 환경에 놓이는 경우 스스로 그 주변 환경에 대한 지도를 작성(Mapping)을 할 수 있어야 한다. 자율 이동 로봇의 환경 지도 작성이란 주변의 장애물이나 물체가 놓인 위치, 그리고 자유롭게 이동 가능한 열린 공간 등을 알아내어 적절한 방법으로 기억하는 작업을 의미한다. 대부분의 이동 로봇은 초음파 센서나 적외선 센서와 같은 거리 측정 센서를 이용하여 주변 장애물들까지 거리를 측정한 다음, 현재 자신의 위치를 중심으로 해당 장애물들의 절대 위치를 추정하는 방식으로 지도를 작성해나간다. 하지만 많은 경우, 자율 이동 로봇은 센서 데이터의 불확실성과 이동 모터 작동의 부정확성으로 인해 자신의 위치를 정확히 추정하기 어렵다. 따라서 로봇의 위치가 불확실하면, 그것을 기준으로 환경 지도를 만드는 일은 매우 어려워지게 된다[1, 2]. 또한, 자율 이동 로봇이 가진 센서의 불확실성은 환경 내 동일한 공간에 대한 센서 측정치가 매번 달라질 수 있어, 그 곳에 장애물이 존재하는지, 아니면 빈 공간인지 판단하기 어렵게 한다[3]. 본 논문에서는 이러한 센서의 불확실성을 고려하여 효과적으로 새로운 환경에 대한 점유 격자 지도(Occupancy Grid Map)를 작성하는 방법을 제안한다. 그리고 이 방법에 기초하여 개발된 실제 자율 이동 로봇 시스템의 설계와 구현에 대해 소개한다.

※ 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음

2. 환경 지도 작성

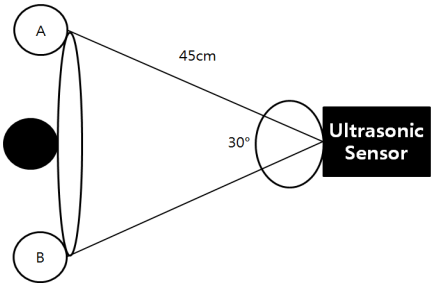
이동 로봇에 이용되는 지도 표현법으로는 작업 환경내의 빈 공간을 주로 표현하는 자유 공간 지도(Free Space Map), 선분이나 다각형들의 집합으로 환경 내의 물체를 주로 표현하는 사물-위주 지도(Object-Oriented Map), 자유 공간과 물체를 함께 표시 할 수 있는 복합 공간 지도(Composite Space Map) 등 크게 세 가지 표현법이 있다. 본 논문에서는 복합 지도의 한 종류인 점유 격자 지도(Occupancy Grid Map) 표현법을 이용한다.



(그림 1) 점유 격자 지도의 예

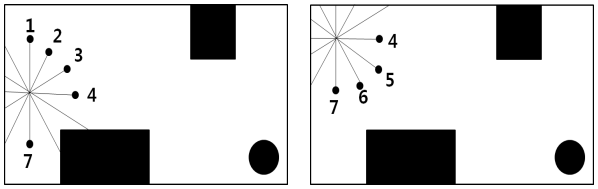
(그림 1)의 좌측은 거리 측정 센서를 이용해 점유 격자 지도를 작성하는 방법을, 우측은 작성된 점유 격자 지도의 예를, 각각 나타내고 있다. 점유 격자 지도 표현법에서는, 전체 공간을 일정한 크기의 작은 셀(cell)들로 나누고, 각 셀별로 그 셀 영역위에 장애물이나 물체가 점유하고 있을 가능성을 0과 1의 이진값(binary value)이나 확률 값(probability) 등으로 나타낸다. (그림 1)의 좌측은 초음파 센서나 레이저 센서를 이용하여 특정 셀들의 점유 여부를

판단하는 방법을 예시하고 있다. 본 논문에서는 주변 환경의 온도나 물체의 반사율에 따라 오차가 발생할 수 있는 초음파 센서의 불확실성 문제를 극복하기 위해, 하나의 셀에 대해 다양한 각도에서 측정된 많은 수의 센서 측정치를 이용하여 그 셀의 점유도를 추정하는 통계적 모델링(Stochastic Modelling) 방법을 이용한다. 로봇이 처음 미지의 공간에서 환경 지도 작성을 시작할 때는, 모든 격자 셀의 점유 여부가 아직 확인되지 않았기 때문에 각 셀의 점유도를 0으로 초기화한다. 초기화가 끝나면, 로봇은 자기 주변 셀들의 점유 여부를 확인하기 위해 초음파 센서를 30도씩 12번에 걸쳐 총 360도를 회전하면서 주변 장애물까지 거리를 측정한다. 그리고 센서가 한번 스캔하는 범위 안의 셀에 물체가 있으면, 해당 셀의 점유도를 1 증가시키고, 물체가 없으면 1 감소시킨다. 탐색과정동안 로봇은 이전에 스캔한 적이 있는 셀들을 재 스캔할 기회를 가질 수도 있다. 하나의 셀이 센서로 재 스캔할 기회를 가질 때마다 그 셀의 점유도도 계속 갱신되고, 이에 따라 해당 셀의 점유도에 대한 신뢰도도 높아진다고 가정한다. 예컨대, 3번의 초음파 스캔을 거친 결과, 점유도가 +1인 셀에 비해 점유도 +3인 셀에 장애물이나 벽이 존재할 가능성이 더 높다고 판단한다. 따라서 각 셀의 스캔 횟수를 높일수록 더 신뢰도가 높은 점유 격자 지도를 얻을 수 있다.



(그림 2) 센서 결과 값의 다양한 가능성

(그림 2)는 초음파센서가 45cm 떨어진 물체를 감지한 경우를 나타낸다. 초음파 센서는 특성상 그림과 같이 30도 각도의 원호 영역이 모두 측정 범위 안에 포함되기 때문에, 이 경우 실제 물체의 위치는 A와 B 사이의 어느 곳도 가능하다. 따라서 본 논문에서는 A와 B 두 지점 사이의 모든 셀들이 점유된 것으로 처리한다. 하지만 이 셀들 역시 추후에 다시 다른 각도에서 재 스캔할 기회를 가질 수 있기 때문에 그때 좀 더 정확한 점유도를 가질 수 있도록 수정될 수 있다.



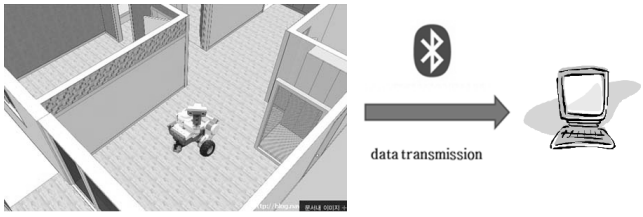
(a) 탐색 1 단계 (b) 탐색 2 단계

(그림 3) 환경 지도 작성을 위한 탐색 전략

(그림 3)은 효과적으로 환경 지도를 작성하기 위한 자율 이동 로봇의 탐색 전략(Exploration Strategy) 중 하나를 나타낸다. 이 전략은 임의 탐색 전략(Random Exploration Strategy)의 하나로서, 거리 측정 센서를 이용해 주변의 장애물까지를 측정한 다음, 장애물과의 거리가 가장 먼 방향중 하나를 임의로 선택하여 그 방향으로 탐색을 계속하는 전략이다. 예컨대, (그림 3)의 탐색 1단계에서 360도를 30도씩 나누어 총 12 개의 방향별로 장애물과의 거리를 측정해본다. 그 결과 12개의 방향들 중에서 7개는 근거리에 벽과 장애물들이 가로막고 있다는 사실을 알게 되고 따라서 근거리에 장애물이 존재하지 않는 나머지 5개 방향들 중 가장 장애물까지 거리가 먼 방향의 위치들 중 하나인 1의 위치를 임의로 선택한다. 탐색 2단계에서는 탐색 1단계에서 선택한 1의 위치로 이동한 후, 앞서 수행한 과정을 반복하면서 미지의 공간 탐색을 계속해간다.

3. 시스템 설계

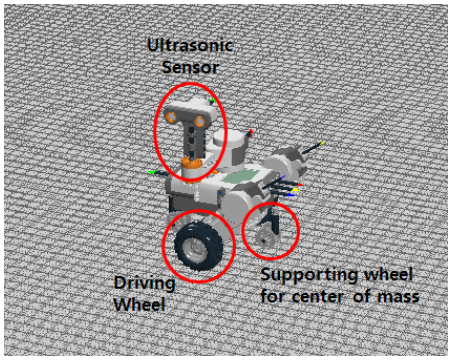
앞에서 설명한 점유 격자 지도 작성 방법을 적용한 실제 자율 이동 로봇 시스템을 설계하고, Lego Mindstorm NXT Kit와 leJOS NXT [4, 5]를 이용하여 이 시스템을 구현하고자 한다.



(그림 4) 시스템 구성도

3.1 시스템 구성

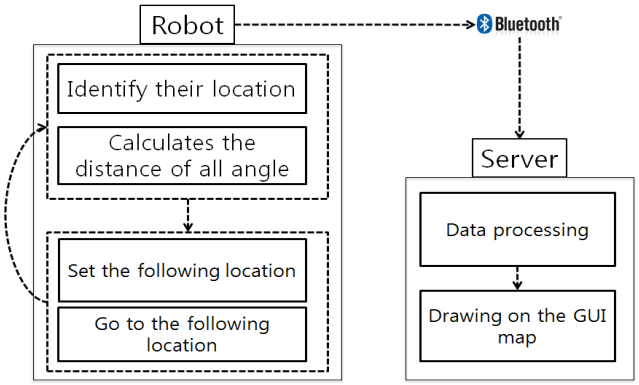
환경 지도 작성을 위한 자율 로봇 시스템의 전체 구성은 (그림 4)와 같다. 크게 로봇으로 구성된 클라이언트와 PC 서버로 구분된다. 클라이언트는 센서를 이용하여 얻은 데이터를 서버로 전송하고 다음 동작을 결정하는 로봇과 로봇으로부터 받은 데이터를 가공해 GUI에 주변 환경을 그리는 서버로 구성된다. 블루투스 통신을 이용하기 때문에 서버와 유선으로 연결하지 않아도 데이터 통신을 할 수 있다. 로봇은 정지 상태에서 모터를 이용해 자신에게 장착된 초음파센서를 일정한 각도별로 회전시켜 자신을 둘러싸고 있는 장애물까지 초음파가 왕복하는데 걸리는 시간을 이용하여 각도별 거리를 계산하고 각도별 거리를 구할 수 있다. 이렇게 얻은 데이터를 블루투스를 이용하여 서버로 전송하고 로봇은 이 정보를 토대로 이동할 방향을 구하고 다음 탐색할 지점을 정해 장애물과 부딪히지 않을 만큼 이동한다. 또한 로봇은 스캔하는 각도를 줄여서 읽어들이는 외부데이터의 양을 늘림으로써 정확도를 좀 더 높일 수 있고, 이동하는 거리를 증가시켜서 주변 환경을 구석구석 탐험 할 수 있다. 그리고 서버는 로봇으로부터 전송받은 데이터를 누적하여 주변 환경을 그린다.



(그림 5) 로봇 구성도

3.2 로봇 구성

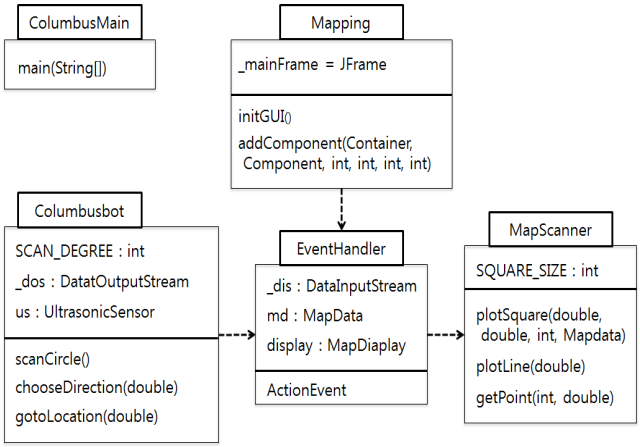
로봇 구성은 (그림 5)과 같다. 총 3개의 모터가 사용되는데 1개는 센서를 돌려서 전 방향 탐색에 사용되고, 나머지 2개는 바퀴 2개를 구동시키는데 사용된다. 고무바퀴를 4륜으로 구성할 경우 바닥과의 마찰이 2륜의 경우보다 상대적으로 크기 때문에 고무바퀴는 2륜으로 구성하였고, 무게중심의 불안정함을 해소하기 위해 마찰이 거의 없는 플라스틱 지지바퀴를 로봇의 전, 후방에 사용한다. 그리고 센서는 현재 로봇의 위치에서 주변 환경까지의 거리를 측정할 수 있는 초음파 센서를 사용한다.



(그림 6) 프로그램 구성도

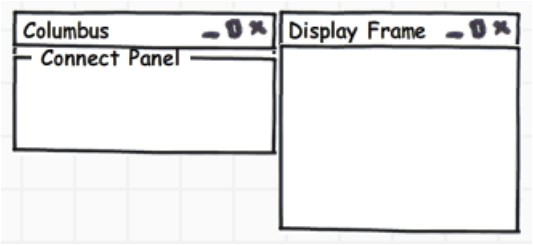
3.3 프로그램 설계

환경 지도 작성을 위한 자율 이동 로봇 시스템의 프로그램 구성은 (그림 6)과 같다. 로봇은 자신의 위치에서 각도별 거리를 계산하는 작업을 한다. 이 정보를 이용해 이동할 위치를 선정하고 이동할 거리를 계산한 후 이동하는데 센서를 통해 얻어진 장애물까지의 거리에서 일정 거리만큼을 감소하여 이동함으로써 장애물과 부딪히는 현상을 방지한다. 이를 반복함과 동시에 자신의 위치와 해당 위치에서의 각도별 거리를 블루투스를 이용해 서버에 전송한다. 서버는 주변 환경을 잘게 쪼갠 격자지도로 가정하고 로봇에게서 전송된 좌표와 각도별 거리정보를 토대로 각 격자마다 장애물이 있는지 없는지를 판단하는데 이때 각 격자마다 정보를 축적해서 장애물이 있는지 없는지 매번 갱신하면서 주변 환경을 그린다.



(그림 7) 클래스 다이어그램

프로그램의 클래스 다이어그램은 (그림 7)과 같다. 로봇의 Columbusbot 클래스가 서버와 접속이 되면 scanCircle 메서드를 이용해 주변 환경을 스캔한다. 이때 얻은 데이터 즉 자신의 위치와 각도별 거리를 블루투스를 이용해 서버로 전송함과 동시에 double형 2차원 배열에 저장하고 이 배열을 chooseDirection 메서드가 파라미터로 받는다. 이 메소드는 로봇과 물체의 거리가 충분히 이동할 수 있는 조건을 만족하는 방향 중 임의로 한 방향을 선택한다. 그 방향을 gotoLocation 메소드의 파라미터로 넘겨주고 이 정보를 이용해 삼각함수 공식을 이용하여 x, y좌표를 구한 다음 모터를 이용해 다음 탐색지점까지 이동하게 된다. 로봇은 위의 행동을 실제 지형을 모두 탐색할 수 있을 만큼 충분히 반복한다. 서버는 EventHandler 클래스에서 서버와 로봇의 접속을 지시하고 로봇으로부터 로봇의 위치, 각도별 거리정보를 받아들인다. MapScanner 클래스 내부에서 plotSquare 메서드가 로봇의 위치, 각도별 거리정보를 받는다. 이 정보를 토대로 점유 격자 지도 기법을 활용해 GUI에 주변 환경을 나타낸다.

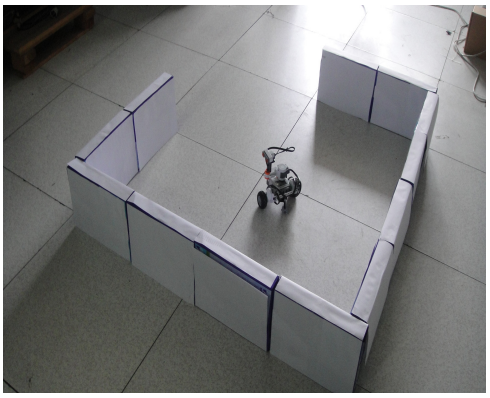


(그림 8) 사용자 화면 구성도

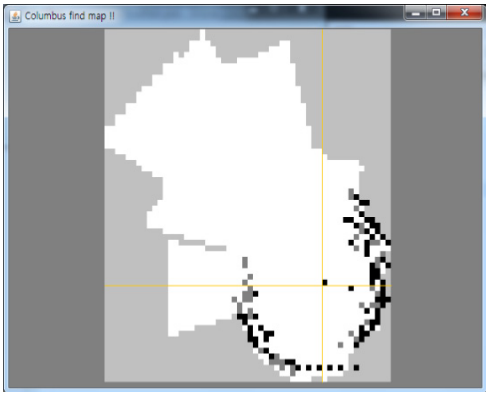
3.4 사용자 인터페이스 설계

(그림 8)은 개략적으로 설계된 사용자 화면 구성을 보여주고 있다. 사용자 화면은 클라이언트와 서버를 연결하는 패널과 지도를 그리는 패널등 크게 2개의 패널들로 이루어져있다. 데이터를 받아서 주변 환경을 그리는 서버에서

는 두 가지 프레임을 설계하였다. 기본 프레임의 커넥트(ConnectPanel)패널은 로봇의 이름과 맥주소를 선택하여 클라이언트와 서버를 연결하는 로봇과의 접속 명령을 내린다. 두 번째 프레임에서는 캔버스(Canvas) 기법과 점유 격자 지도 기법을 이용하여 주변 환경을 그리도록 설계하였다.



(그림 9) 지도 작성 실험 환경



(그림 10) 작성된 점유 격자 지도

4. 구현 및 평가

앞서 제시한 환경 지도 작성 방법과 이것을 이용한 자율 로봇 시스템의 성능을 분석하기 위해, 실제로 Lego Mindstorm NXT Kit으로 로봇을 조립하고 leJOS NXT [4, 5]를 이용하여 로봇 제어 및 지도 작성 프로그램을 구현하였다. 그리고 이렇게 구현된 자율 이동 로봇 시스템을 이용하여 (그림 9)와 같은 실험 환경을 대상으로 환경 지도 작성 실험을 전개하였다. (그림 10)은 실험 결과로 얻어진 점유 격자 지도(Occupancy Grid Map)를 보여준다. 지도 화면에 검정색으로 표시된 부분은 장애물이 있는 위치를 나타내는 반면, 흰색 부분은 로봇이 이동할 수 있는 영역을 나타낸다. 화면에서 노란색 교차점으로 표시된 부분은 지도 작성 작업을 시작한 로봇의 초기 위치를 나타낸다. 실험 중 초음파센서를 통해 읽어 들이는 값이 실세계의 거리 값과 정확히 일치하지 않아 로봇이 이동하다 벽이나 코너에 부딪히는 경우가 종종 있었다. 로봇이 한번이라도 벽에 부딪히게 되면, 자신의 위치 값을 상실하게 되어 미아(Kidnap) 상태가 되기 때문에 이를 최소화하기 위해 로봇이 이동하는 거리 값을 줄여서 실험하였다. 이로 인해 외부 장애물로부터 로봇을 보호할 수는 있었지만, 환경의 구석구석을 좀 더 세밀하게 탐색할 수 없어 지도의 정확도가 저하되는 현상이 발생했다. 또한 장애물 사이에 미세한 틈이 있고 초음파가 이 부분으로 통과할 경우, 올바른 거리 측정치를 얻을 수 없는 경우도 종종 발생하였다. 이러한 여러 가지 장애 요소들이 존재하였음에도 불구하고, (그림 10)과 같은 실험 결과를 얻을 수 있었던 것은 앞서 제시한 점유 격자 지도 생성 방법의 효과 때문인 것으로 판단한다. 향후 더 정확한 거리 측정치를 얻기 위해 초음파 센서 대신 적외선 센서(Infrared Sensor)나 레이저 센서(Laser Sensor)로 대체하고, 회전 동작의 정확도를 높이기 위해 컴퍼스 센서(Compass Sensor)를 추가한다면, 본 논문에서 제시한 환경 지도 작성 방법으로 좀 더 정확한 환경 지도를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

5. 결론

본 논문에서는 센서 데이터의 불확실성을 고려한 효과적인 점유 격자 지도 작성 방법을 제안하였고, Lego Mindstorm NXT Kit을 이용하여 개발된 환경 지도 작성을 위한 자율 이동 로봇 시스템의 설계와 구현에 대해 소개하였다. 그리고 제안된 점유 격자 지도 작성 방법의 효과와 성능을 확인하기 위한 실험 결과도 소개하였다. 향후 시스템의 성능 개선을 위해 현재의 초음파 센서 대신 고성능 센서들로 대체하거나 추가 장착하는 방안, 자율 로봇에 의한 임의 탐색 전략(Random Exploration Strategy) 대신 좀 더 지능적인 새로운 탐색 전략을 개발하는 방안, 그리고 이미 환경을 잘 알고 있는 사용자가 대신 탐색을 유도해가는 방안 등을 폭넓게 연구할 계획이다.

참고문헌

[1] Hugh Durrant-Whyte and Tim Bailey, “Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Part I The Essential Algorithms”, Robotics and Automation Magazine, Vol. 13, pp.99-110, 2006.

[2] Gerardo Oliveira, et al, "Environment Mapping using the Lego Mindstorms NXT and leJOS NXJ", Proceedings of EPIA-2009, 2009.

[3] Greg Welch and Gary Bishop, The Kalman Filter: Some Tutorials, References, and Research, http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/, 2011.

[4] Brian Bagnall, Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains, Varinat Press, 2007.

[5] Brian Bagnall, et al, leJos: Java for Lego Mindstorms, http://lejos.sourceforge.net, 2009.