

이동 로봇의 경로 계획을 위한 새로운 지도 작성 방법에 관한 연구

○ 오준섭, 박진배, 최윤호
* 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 ** 경기대학교 전자공학과

A Study on New Map Construction Method for Path Planing of Mobile Robots

○ Joon Seop Oh, Jin Bae Park, Yoon Ho Choi
* Yonsei University Electric and Computer Engineering, ** Kyonggi University Electronic Engineering

Abstract - 본 논문에서는 이동 로봇의 유연하고 짧은 경로 계획을 위하여 기존의 그리드 셀(grid cell)로 구성되는 지도 대신에 삼각형을 이용하여 지도를 구성하는 새로운 방법을 제안한다. 기존의 그리드 셀로 구성되는 지도의 경우 이동 로봇가 현재 셀에서 다음 셀로 진행시 진행 방향이 8 방향이나, 본 논문에서 제안한 방법에 의해 구성된 새로운 지도는 셀을 삼각형으로 표현함으로써, 이동 로봇의 진행 방향이 12 방향이 된다. 이와 같이 이동 로봇의 진행 방향이 증가한다는 것은 이동 로봇이 더욱 유연하게 장애물을 회피하며 더욱 짧은 경로로 주행할 수 있는 가능성을 의미한다.

한편, 본 논문에서 제안한 삼각형 지도 작성 방법의 효율성을 기존의 그리드 셀을 이용한 경로 계획 알고리즘인 거리 변환(path transform) 경로 계획을 통하여 증명한다. 또한 새로운 삼각형 지도 구성이 메모리의 효율성 위해 이동 로봇의 주행 환경을 장애물이 비어있는 공간을 가능한 하나의 셀로 병합하는 4진트리 방법(quadtrees method)에도 적용 가능함을 보인다.

따라서 본 논문에서는 12 방향의 진행 방향을 가질 수 있는 삼각형 셀의 형태로 환경 지도를 작성하는 방법을 제안한다. 제안한 삼각형 지도의 효율성을 보이기 위하여 사각형 지도를 이용하는 경로 계획 방법인 거리 변환 경로 계획 방법과 4진트리 방법을 적용한다.

2. 거리 변환 경로 계획과 4진트리 방법

2.1 거리 변환 경로 계획 방법

거리 변환을 이용한 경로 계획 방법은 먼저 작업 환경 지도의 모든 자유 공간의 셀에 목표 위치로부터의 거리값을 할당한다. 모든 셀에 거리가 할당되면 초기 조건으로 어느 출발 위치가 주어지더라도 현재 셀에서 8 방향의 셀의 거리값을 탐색하고 거리값이 가장 작은 셀로 이동 로봇의 주행 경로를 계획할 수 있다. 만약 현재의 셀의 거리값보다 작은 거리값을 갖는 셀이 없다면 목표 위치까지의 경로를 계획할 수 없는 작업 환경을 의미한다. 그림 1은 작업 환경 지도내의 장애물과 각 셀에 거리값이 할당됨을 보인다.

1. 서 론

장애물이 존재하는 작업 환경 내에서 이동 로봇의 최적의 경로를 구하는 문제는 많은 분야에서 연구 대상이 되어왔다. 이러한 문제는 작업 환경에 대한 완벽한 정보와 경로 계획 방법이 요구되기 때문에 미지의 환경에 대해서는 바로 적용할 수 없는 제한성을 가진다. 따라서 장애물을 포함한 미지의 작업 환경에서 목표 지점이 주어졌을 경우에 이동 로봇의 경로 계획 방법은 최적의 경로를 구하는 문제로 축약될 수 있다[1][2].

미지의 환경에 대한 정보가 전혀 없거나 부분적인 정보만을 이용해 이러한 문제를 해결하는 하나의 방법은 센서 데이터들을 이용하여 환경 지도를 작성하는 것이다.

물론 센서의 부정확성이나 잡음으로 인한 문제와 지도 작성시 센서 데이터간의 매칭 문제 등이 발생하지만 이러한 문제를 해결하고자 하는 연구도 진행되어 왔다 [3]-[5]. 따라서 이동 로봇의 경로 계획을 위한 다양한 지도 작성 방법이 연구되었다[1]. 이러한 방법은 네트워크/그래프 모델(network/graph model)과 그리드 기반 모델(grid based model)의 두 가지로 크게 나뉜다. 네트워크/그래프 모델은 자유 공간 영역의 정보와 특징점들로 표현되는 장애물들을 도식화함으로써 작업 환경을 나타내는 방법이나 정확한 센서의 정보를 필요로 하기 때문에 실질적으로는 이러한 정보를 획득하기는 어렵다는 단점이 있다. 반면 그리드 기반 모델은 작업 환경을 일정 셀로 나누어 장애물이 있는 셀과 없는 셀로 표현하는 방법이다[4]. 이 방법은 많은 양의 메모리를 필요로 하는 단점이 있으나 센서의 부정확성 등의 문제에 크게 영향을 받지 않고 실질적으로 쉽게 환경 지도를 구성할 수 있는 방법이다. 이러한 그리드 기반 모델의 셀은 사각형이기 때문에 이동 로봇은 8 방향의 진행 방향을 가진다. 이러한 진행 방향이 증가한다면 이동 로봇은 더욱 유연하게 장애물을 회피하며 최적의 경로로 주행 가능할 것이다.

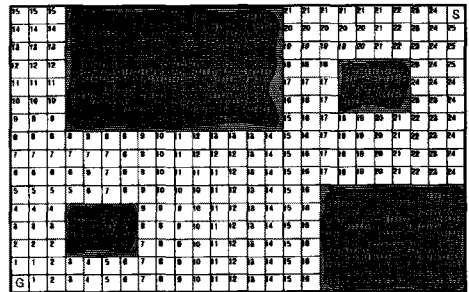


그림 1. 장애물과 거리값을 갖는 환경 지도

2.2 4진트리 방법

그리드 기반 모델은 이동 로봇의 작업 공간을 장애물 분포에 관계없이 일정한 크기의 셀로 나누어 표현하므로 작업 공간의 크기가 증가함에 따라 많은 수의 셀이 필요하고 이에 따라 많은 메모리 공간이 필요한 단점을 가진다. 이를 해결하게 위하여 전체 작업 공간을 작은 작업 공간들의 연결로 표현한 후, 작은 작업 공간을 주행하여 그리드형 환경 정보를 구성하고 이를 4진트리 환경 정보로 변환하는 과정을 각각의 작은 작업 공간에 대해 반복한다. 이 경우 그리드형 환경 정보를 통하여 4진트리 환경 정보를 구성하므로 이동 로봇에 사용되는 부정확한 센서값을 보완할 수 있다. 4진트리 환경 정보는 공간내의 장애물 특성에 따라 셀의 크기를 다르게 하는 방법으로 장애물 없는 넓은 공간이나 큰 장애물이 있는 공간은 하나의 큰 셀로 표현하고, 장애물이 부분적으로 존재하는 공간은 순차적으로 세분화된 작은 셀로 표현한다. 따라서 동일한 작업 공간을 표현하고자 할 때 그리드형 환경 정보에 비해 셀의 수가 크게 감소함으로써 메모리의 효

효성을 증가시킬 수 있다. 그림 2는 8×16의 셀을 갖는 작업 환경을 4진트리 환경 정보로 변환한 결과를 나타낸다. 변환된 각각의 cell에 규칙적으로 번호를 할당하면 더욱 효율적인 정보로 사용할 수 있다

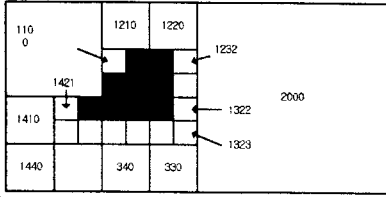


그림 2. 환경 지도에 대한 4진트리 표현

3. 새로운 지도 작성 방법

기존의 이동 로봇의 경로 계획이나 주행을 위해 사용되던 그리드형 지도는 그림 3의 왼쪽 그림과 같이 현재의 셀에서 이동하는 경우 8 방향을 갖는다. 그러나 셀을 삼각형으로 표현하면 오른쪽 그림과 같이 12 방향의 방향을 갖는다. 이동 로봇이 주행할 수 있는 방향이 증가할수록 더욱 최적의 경로를 계획할 수 있으며, 이동 장애물과 같은 예측할 수 없는 경우가 발생할 경우에도 더욱 유연하게 충돌을 피할 수 있다.

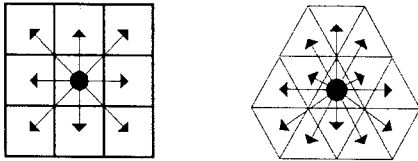


그림 3. 사각형 및 삼각형 셀의 방향성

3.1 삼각형 지도에서의 거리 변환 경로 계획 방법

기본적인 방법은 사각형 지도를 이용한 경우와 동일하다. 작업 환경의 모든 자유 공간 셀에 목표 위치로부터의 거리값을 할당한 후 초기 위치로부터 목표 위치까지의 셀에 할당된 거리값이 감소하는 경로를 계획하는 것이다. 그림 4는 삼각형 지도에 작업 환경 지도내의 장애물과 각 셀에 거리값이 할당됨을 보인다.

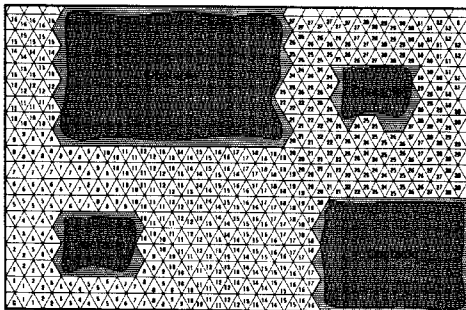


그림 4. 장애물과 거리값을 갖는 삼각형 환경 지도

3.2 삼각형 지도에서의 4진트리 방법

사각형 지도에서와 동일하게 초기 작업 공간을 일정한 크기의 셀로 나누어 표현하므로 작업 공간의 크기가 증가함에 따라 많은 수의 셀이 필요하고 이에 따라 메모리가 많이 요구된다. 그림 5는 삼각형 지도에서 4진 트리 환경 정보를 구성한 것이다.

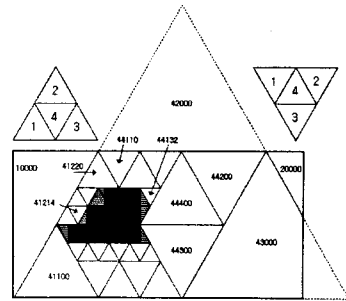


Fig 5. 삼각형 환경 지도에 대한 4진트리 표현

4. 경로 주행 및 4진트리 변환

새로운 작업 환경 지도의 효율성을 몇 가지 예제들을 통해 증명한다. 모든 경우의 작업 환경은 동일하며 4개의 장애물을 가진 16m×26m로 설정하였다. 하나의 셀에 장애물이 약간이라도 포함되면 그 셀은 장애물로 간주한다. 그림 6은 기존의 사각형 지도를 이용하여 이동 로봇이 초기 출발 위치 S에서 목표 위치 G까지의 경로를 구함을 나타낸다. 이 경우 사각형 지도에서의 주행 경로의 길이는 약 32.37m가 되었다.

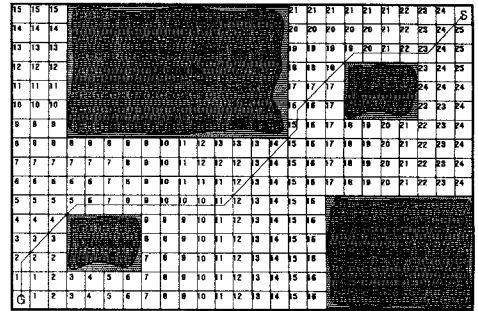


그림 6. 사각형 지도를 이용한 이동 로봇의 경로 주행

그림 7은 본 논문에서 제안한 삼각형 지도를 이용하여 이동 로봇이 초기 위치 S에서 목표 위치 G까지의 경로를 구함을 나타낸다. 삼각형 지도를 이용한 경우가 사각형 지도를 이용해서 주행한 경우보다 더욱 짧은 경로를 구하며 유연하게 장애물을 회피하는 결과를 알 수 있다. 이 경우 주행 경로는 약 30.23m로 감소되었다.

또한 사각형 셀과 삼각형 셀의 한 변의 길이를 동일하게 설정하였기 때문에 셀의 수가 사각형 지도에 비하여

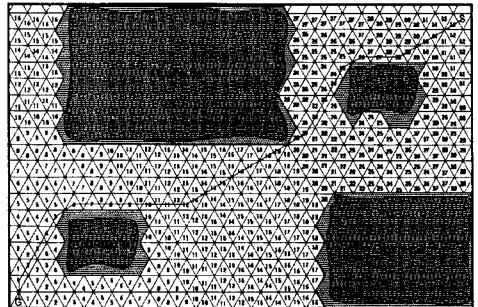


그림 7. 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 경로 주행

증가하기 때문에 메모리가 많이 요구된다는 단점이 생긴다. 이러한 단점을 해결하게 위하여 삼각형 셀의 크기를 증가시켜 사각형 지도와 삼각형 지도의 셀의 수를 같도록 설정한다. 그림 8은 삼각형 지도에서 셀의 크기를 증가시키고 주행한 결과이다. 주행 경로 길이가 감소하고 유연하게 장애물을 회피하는 동일한 결과를 알 수 있다. 사각형 셀과 넓이가 같도록 설정한 삼각형 지도에서의 경우 주행 경로는 약 29.57m가 되었다.

이상의 결과로부터 지도의 셀 크기를 설정하는 문제도 이동로봇의 경로 계획에서 중요한 점이라는 것을 알 수 있었다.

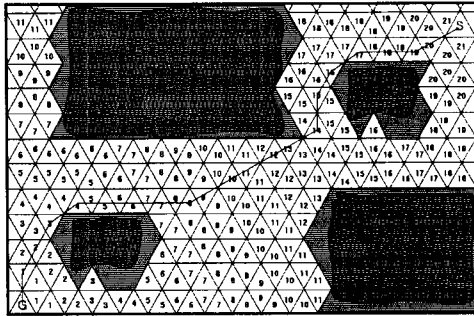


그림 8. 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 경로 주행(동일한 넓이)

그림 9은 4진트리 방법을 사각형 지도에 적용한 결과이다. 작업 환경 공간을 처음 400개의 셀로 설정하였지만 4진트리 변환 후 111개로 27.75%로 감소하였다.

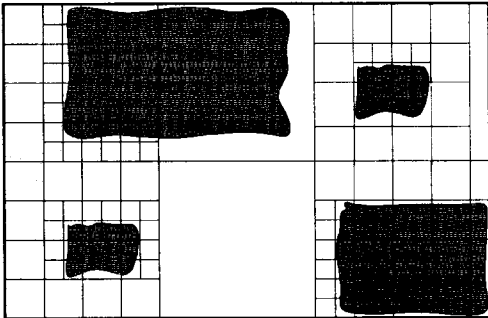


그림 9. 사각형 지도의 4진트리 변환

그림 10은 4진트리 방법을 삼각형 지도에 적용한 결과이다. 초기 설정 880개의 전체 셀에서 4진트리 변환을 한 결과 178개로 20.23%로 감소하였다.

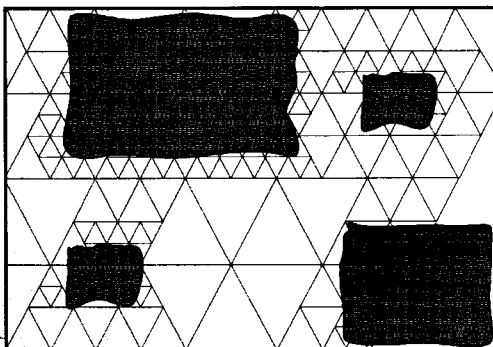


그림 10. 삼각형 지도의 4진트리 변환

그림 11은 동일한 환경에서 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 주행을 컴퓨터 모의 실험한 결과이다. 거리 변환 경로 계획법에 의해 계획된 경로대로 유연하게 장애물을 회피하면서 출발 위치에서 목표 위치까지 주행을 확인할 수 있었다.

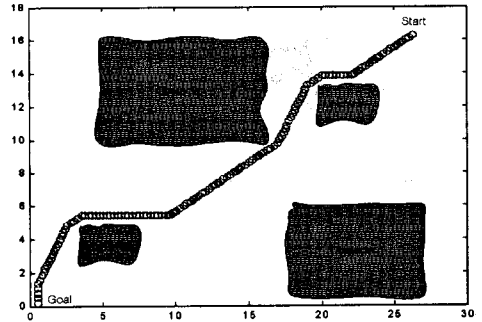


그림 11. 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 주행

5. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 경로 계획에서 주로 사용되는 사각형 셀로 구성되는 지도 작성 방법 대신에 이동 로봇의 진행 방향을 증가시킬 수 있는 삼각형 셀로 구성되는 지도를 작성하는 방법을 제안하였다.

이동 로봇의 경로가 사각형의 셀에서는 8 방향의 진행 방향을 가지지만 삼각형 셀을 사용하면 이동 로봇의 경로가 12 방향으로 증가함으로써 더욱 짧은 경로를 계획할 수 있으며 더욱 유연하게 이동 로봇이 장애물을 회피할 수 있음을 동일한 작업 공간 내에서 몇 가지의 예제와 모의 실험을 통하여 증명하였다. 또한 지도 관리를 위한 메모리의 효율성을 위해 작업 공간을 4진트리로 변환하는 방법도 제안한 삼각형 지도에서 더욱 효율적으로 적용됨을 보였다.

본 예제에서 설정한 작업 환경은 3개의 모서리를 갖는 단순한 공간이다. 작업 환경이 더욱 복잡한 경우 제안한 새로운 지도의 효율성은 더욱 증가할 것이고 12 방향의 방향성을 갖는 삼각형 표현은 이동 로봇의 경로 계획을 위한 지도 작성뿐 아니라 여러 분야에서 적용 가능할 것이라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. M. Thompson, "The Navigation System for the JPL robot" in Proc. 5th Int. Joint Conf. Artificial Intell., pp. 749-757 Aug. 1977.
- [2] H. P. Moravec, "Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Rover", Ph.D. dissertation, Stanford Univ., Stanford, CA, Sept. 1980
- [3] R. Chatila and J. P. Laumond, "Position Referencing and Consistent World Modeling for Mobile Robot" in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation., pp. 138-145. Mar. 1985.
- [4] H. P. Moravec and A. Elfes, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation., pp. 116-121 Mar. 1985.
- [5] J. L. Crowley, "Navigation for an Intelligent Mobile Robot", IEEE J. Robotics Automation., vol. RA-1, no. 1, pp. 31-41, Mar. 1985.
- [6] Z. Alexander, "A Mobile Robot Exploration Algorithm", IEEE trans. Robotics and Automation. Vol. 8. No. 6. pp. 707-717, Dec. 1992.