

이동 로봇의 주행을 위한 새로운 지도 구성 방법 및 경로 계획에 관한 연구

論 文

49D-9-6

A Study on New Map Construction and Path Planning Method for Mobile Robot Navigation

吳 俊 燮* · 朴 珍 培** · 崔 允 浩***

(Joon-Seop Oh · Jin-Bae Park · Yoon-Ho Choi)

Abstract - In this paper, we proposed a new map construction and path planning method for mobile robot. In our proposed method, first, we introduced triangular representation map that mobile robot can navigate through shorter path and flexible motion, instead of grid representation map for mobile robot navigation. Second, for map construction, complete coverage navigation method in which mobile robot can navigate complete space through as short path as possible in unknown environment, is proposed. Finally, we proposed new path planning method in a quadtree representation map. To evaluate the performance of our proposed triangular representation map, it was compared with the existing distance transform path planning method. And we considered complete coverage navigation and new path planning method through several examples.

Key Words : Map Construction, Path planning, Triangular representation map, Complete coverage navigation, quadtree

1. 서 론

20세기 후반에 들어 매니플레이터의 지역성 극복과 고임금으로 인한 원가 상승 및 인력난 등의 문제를 해소하기 위한 공장 자동화의 개념이 도입되면서 임의의 작업 공간에서 원하는 위치로 이동이 가능한 이동 로봇의 연구가 산업계 여러 분야에서 활발히 연구되고 있다. 이동 로봇의 연구 내용으로는 기본적인 이동 로봇 자체의 하드웨어 설계나 전동기 제어, 주위 환경 인식을 위한 여러 가지 센서의 융합 문제[1], 작업 영역 내의 이동 로봇의 정확한 위치를 파악하기 위한 위치 보정 문제, 진행 중 나타나는 장애물 회피 문제[2,3], 이동 로봇의 작업 영역 내의 지도를 작성하는 문제[4] 및 목표 위치로의 경로 계획[5] 문제 등이 있으며, 현재는 이동 로봇의 제어기 설계 및 하드웨어 설계보다는 장애물 회피나 주위 환경 인식을 통한 지도 작성 및 경로 계획 등과 같은 응용 분야에 중점을 두고 연구가 진행되고 있다.

장애물이 존재하는 작업 환경 내에서 이동 로봇의 최적 경로를 구하는 문제는 많은 연구가 진행 되어 왔으나, 이러한 문제는 작업 환경에 대한 완벽한 정보와 경로 계획 방법이 요구되기 때문에 미지의 환경에는 직접 적용될 수 없는 제한성을 가진다. 따라서 이동 로봇의 경로 계획에서의 접근 방법은 장애물을 포함한 미지의 작업 환경에서 목표 지

점이 주어졌을 경우 최적의 경로를 구하는 문제로 축약될 수 있다[6]. 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 작성 시 센서 데이터간의 매칭(matching) 문제 등이 발생하지만 이러한 문제를 해결하고자 하는 연구도 진행되어 왔다[7-9]. 지도 작성의 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. 반면에 그리드 기반 모델은 작업 환경을 일정 셀로 나누어 장애물이 있는 셀과 없는 셀로 표현하는 방법이며[8], 이 방법은 많은 양의 메모리를 필요로 하는 단점이 있으나 센서의 부정확성 등의 문제에 크게 영향을 받지 않고 실질적으로 쉽게 환경 지도를 구성할 수 있다. 한편 이러한 그리드 기반 모델의 셀은 사각형이기 때문에 이동 로봇은 8 방향의 진행 방향을 가진다. 그러나 이동 로봇의 진행 방향이 증가한다면 이동 로봇은 더욱 유연하게 장애물을 회피하며 최적의 경로로 주행 가능할 것이다. 따라서 본 논문에서는 12 방향의 진행 방향을 가질 수 있는 삼각형 셀의 형태로 환경 지도를 작성하는 방법을 제안한다. 한편, 이동 로봇의 경로 계획을 위한 전체적인 지도를 작성하기 위해서는 이동 로봇은 작업 영역 전체를 주행해야 한다. 기존의 전체 영역 주행 방법들은 전체 작업 영역에 대한 장애물의 위치를 알고 있는 상태에서 전체 영역 주행 방법[10]인데 반해 본 논문에서 제안한 전체 영역 주행 방법은

* 正 會 員 : 延世大 工大 電氣·컴퓨터工學科 博士課程

** 正 會 員 : 延世大 工大 電氣·컴퓨터工學科 副教授·工博

*** 正 會 員 : 京畿大 工大 電子·機械工學部 副教授·工博

接受日字 : 2000年 4月 10日

最終完了 : 2000年 8月 3日

마지의 환경에서 가능한 짧은 경로의 주행을 통하여 작업 영역 전체를 주행할 수 있는 방법으로서, 이동 로봇은 셀의 형태로 표현되는 지도를 바탕으로 현재의 위치에서 정의된 7가지의 규칙에 따라 다음 셀로 이동하는 과정을 반복하며 작업 영역 전체를 주행할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 경로 계획 방법은 전체 영역 주행 방법에 의해 획득된 전체 작업 영역에 대한 정보를 바탕으로 이루어진다. 먼저 획득된 전체 작업 영역에 대한 지도를 4진 트리 표현 지도로 변환하고 이동 로봇의 현재 위치, 목표 위치 및 장애물에 대한 정보 등을 이용하여 작업 영역 내의 모든 셀에 정의된 값을 할당한다. 이동 로봇은 현재의 위치에서 목표 위치로의 직선 상의 장애물을 탐색하고 장애물이 탐색되는 경우 장애물의 가장 바깥쪽 두 셀의 결정된 값을 비교하여 값이 작은 셀로 이동하게 된다. 이 과정을 반복하면 이동 로봇은 셀 값을 가진 4진 트리 표현 지도를 바탕으로 출발 위치에서 목표 위치까지의 가능한 짧은 경로를 계획할 수 있다. 이 방법은 적은 데이터를 이용하여 더욱 빠른 시간 내에 목표 위치로의 경로 계획을 할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문은 2장에서 기존의 거리 변환 경로 계획과 그리드 셀 표현의 지도를 4진 트리 방법으로 표현하는 방법을 서술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 새로운 지도 표현에 대한 장점과 이를 이용한 전체 영역 주행 방법에 대하여 기술하며, 4장에서는 새로운 표현의 지도에 대한 4진 트리 표현 방법과 제안한 경로 계획 방법을 소개한다. 5장에서는 몇 가지의 예제를 통하여 본 논문에서 제안한 방법들의 효율성을 기존의 다른 방법들과 비교 고찰하며 마지막 6장의 결론으로 끝맺는다.

2. 거리 변환 경로 계획 및 4진 트리 표현 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. 그림 1은 작업 환경 지도 내의 장애물과 각 셀에 거리값이 할당됨을 보인다.

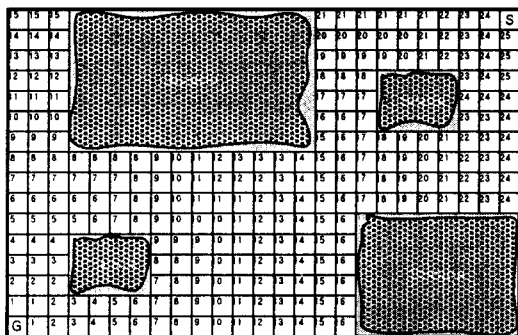


그림 1 장애물과 거리값을 갖는 환경 지도
Fig. 1 Map for environment with obstacles and distance value

그림 1과 같이 모든 셀에 거리값이 할당되면 초기 조건으로 어느 출발 위치가 주어지더라도 이동 로봇은 현재 셀에

서 8 방향의 셀의 거리값을 탐색하고 거리값이 가장 작은 셀로 주행 경로를 구할 수 있다. 만약 현재의 셀의 거리값보다 작은 거리값을 갖는 셀이 없다면 목표 위치까지의 경로를 구할 수 없는 작업 환경을 의미한다. 따라서 목표 위치로의 경로가 존재한다면 반드시 경로를 구할 수 있다.

2.2 4진 트리 표현 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 메모리가 많이 요구되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 전체 작업 공간을 작은 작업 공간들의 연결로 표현한 후, 작은 작업 공간을 주행하여 그리드형 환경 정보를 구성하고 이를 4진 트리 환경 정보로 변환하는 과정을 각각의 작은 작업 공간에 대해 반복한다. 4진 트리 환경 정보는 공간 내의 장애물 특성에 따라 셀의 크기를 다르게 하는 방법으로 장애물이 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 효율성을 증가시킬 수 있다. 그림 2는 8x16의 셀을 갖는 작업 환경을 4진 트리 환경 정보로 변환한 결과를 나타낸다. 변환된 각각의 셀에 규칙적으로 번호를 할당하면 더욱 효율적인 정보로 사용할 수 있다

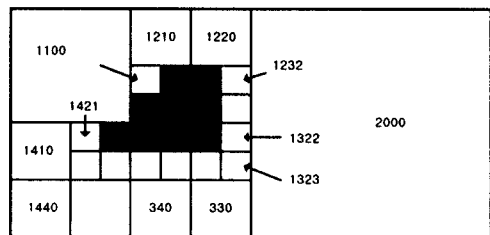


그림 2 환경 지도에 대한 4진 트리 표현
Fig. 2 Quadtree representation for environment map

그림 3은 4진 트리 표현을 통한 전체 작업 환경에 대한 지도 표현을 나타낸다.

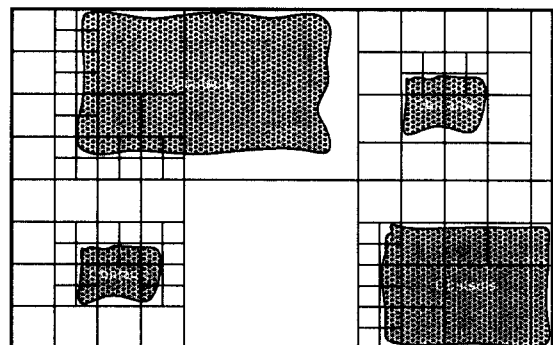


그림 3 사각형 지도의 4진 트리 변환
Fig. 3 Quadtree representation for rectangular map

3. 새로운 지도 작성 및 전체 영역 주행 방법

3.1 새로운 지도 표현 방법

기존의 이동 로봇의 경로 계획이나 주행을 위해 사용되는 그리드형 지도는 그림 4(a)와 같이 현재의 셀에서 이동하는 경우 8 방향을 갖는 반면, 셀을 삼각형으로 표현하면 그림 4(b)와 같이 12 방향을 갖는다. 이동 로봇이 주행 할 수 있는 방향이 증가할수록 더욱 최적의 경로를 구할 수 있을 것이며, 이동 장애물과 같은 예측할 수 없는 경우가 발생할 경우에도 더욱 유연하게 충돌을 회피할 수 있다. 그림 5는 그림 1의 그리드 셀 표현의 지도를 삼각형 셀로 표현한 지도이다.

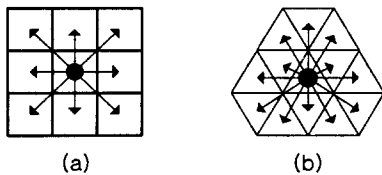


그림 4 사각형 및 삼각형 셀의 방향성
Fig. 4 Direction of rectangular and triangular cell

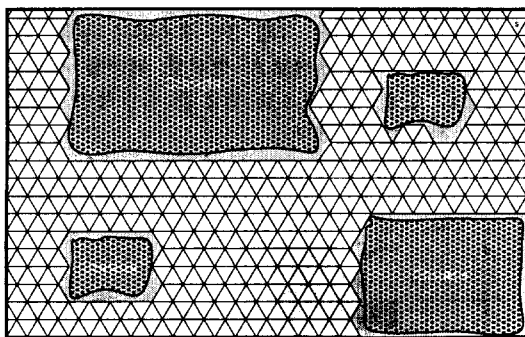


그림 5 삼각형 표현 환경 지도
Fig. 5 Environment map with triangular cell

3.2 전체 영역 주행 방법

이동 로봇의 경로 계획을 위한 전체적인 지도를 작성하기 위해서는 이동 로봇은 작업 영역 전체를 주행해야 한다. 기존의 전체 영역 주행 방법은 주행 전에 이미 알고 있는 작업 영역의 정보를 이용하여 출발 위치에서 목표 위치로 전체 영역을 주행할 수 있는 경로를 계획하는 방법이다. 대표적인 방법으로 목표 위치에서 현재 위치까지의 거리를 이용하는 방법이 있으나 미지의 작업 환경에는 적용할 수 없다. 본 논문에서 제안한 전체 영역 주행 방법은 미지의 환경에서 가능한 짧은 경로의 주행을 통하여 작업 영역 전체를 주행할 수 있는 방법으로서, 이동 로봇은 셀의 형태로 표현되는 지도를 바탕으로 현재 위치에서 정의된 7가지의 규칙에 따라 다음의 셀로 이동하는 과정을 반복하며 작업 영역 전체를 주행할 수 있다. 그림 6은 기존의 전체 영역 주행 과정을 나타낸다. 이동 로봇은 현재 셀에 할당된 값을 주위의 다른 셀의 값과 비교하여 현재의 셀의 값보다 큰 값을 갖는 셀로 이동을 하며, 큰 값을 갖는 셀이 없는 경우는 같은 값을 갖는 셀로, 같은 값을 갖는 셀이 없는 경우는 작은 값을 갖는 셀로 이동하는 등 가능한 큰 값을 갖는 셀로 이동하는 방법이다. 이 방법은 통과한 셀을 다시 통과하는 비효율적인 경우를 갖고, 정보를 알지 못하는 경우는 적용할 수 없다는 단점을 갖는다.

을 갖는 셀로, 같은 값을 갖는 셀이 없는 경우는 작은 값을 갖는 셀로 이동하는 등 가능한 큰 값을 갖는 셀로 이동하는 방법이다. 이 방법은 통과한 셀을 다시 통과하는 비효율적인 경우를 갖고, 정보를 알지 못하는 경우는 적용할 수 없다는 단점을 갖는다.

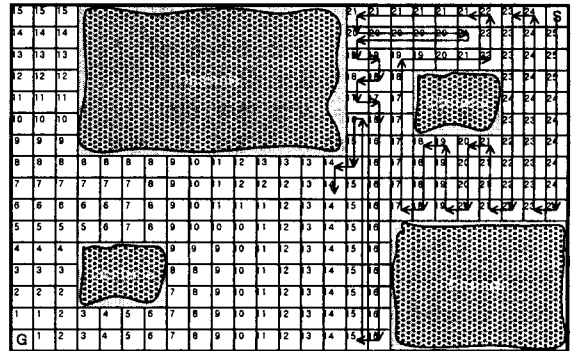


그림 6 거리값을 이용한 전체 영역 주행 방법
Fig. 6 Complete coverage navigation method using distance value

본 논문에서 제안한 전체 영역 주행 방법은 다음과 같다. 이동 로봇이 모든 작업 영역을 주행한다는 의미는 셀 표현의 지도에서 모든 셀을 통과하며 주행한다는 의미이기 때문에 먼저 전체 작업 영역은 최소 단위의 셀로 표현한다. 주행 목적은 가능한 짧은 경로를 통하여 출발 위치에서 모든 작업 영역을 주행한 후에 다시 처음 위치로 되돌아오는 것이다. 이 경우 한번 통과한 위치는 다시 통과하지 않도록 주행 후에는 특정한 경우 이외에는 장애물로 인식한다. 여기서 특정한 경우라는 것은 막힌 좁은 통로와 같이 이동 로봇이 통과한 후에 다시 되돌아 올 수 있는 영역이 존재하지 않는 경우를 말한다. 따라서 본 논문에서 제안한 전체 영역 주행 방법은 다음과 같은 규칙을 통하여 이루어진다.

- [규칙 1] 출발 셀에서 가장 가까운 벽(경계선)을 탐색 후 탐색된 벽 방향으로 주행을 시작한다. 탐색된 벽이 없는 경우 전체 영역에서 가장 가까운 벽 방향으로 주행한다.
- [규칙 2] 주행 중 장애물을 탐지하면 장애물의 위치에 따라 장애물 주위를 따라 주행한다. 주행 방향에 장애물을 탐지한 경우 통과하지 않은 장애물 주위의 셀로 주행하고, 주행 방향 측면에 장애물을 탐지한 경우 그대로 주행한다.
- [규칙 3] 주행 도중 좌·우측에 장애물이 있는 막힌 통로를 탐지한 경우 통로의 영역 너비를 계산하여 너비가 최소 셀 크기의 4배 이상이면 그대로 장애물 둘레 주행하고, 너비가 최소 셀 크기의 4배 미만이면 막힌 통로 전체 영역 주행 후 장애물 둘레를 주행한다.
- [규칙 4] 출발 위치 방향으로 주행 중 장애물이 발견되지 않으면 출발 위치에서 최소 셀 단위 4배 전에서 다시 현재 주행 방향의 반대 방향으로 주행한다. 이것은 처음 출발 위치로 계속 주행을 하게 되면 최종적으로 지난 셀을 다시 통과해야만이 전체 영역 주행이 가능해지며, 또한 초기 위치로 되돌아 오는 경우에도 지난 셀을 다시 통과

해야한다는 비효율적인 주행 방법이 되기 때문이다.

[규칙 5] 주행중 장애물과 장애물의 가장 가까운(인식된 장애물 사이의) 셀들의 크기가 최소 크기의 4배 미만이면 영역을 넘지 않고 주행 방향의 반대 방향으로 주행한다. 이러한 영역은 이동 로봇이 모든 셀을 통과한 후 벗어나야지만 지난 셀을 다시 통과하지 않는 효율적인 전체 주행 방법이 될 수 있다.

[규칙 6] 주행 중 최소 단위의 통로를 통과하는 경우 막힌 통로인 경우는 통과한 셀을 다시 통과하여 통로로 되돌아 나오며, 막힌 통로가 아닌 경우 나오는 통로의 너비가 최소 셀 단위의 3배 미만이면 통로 전체 영역 주행 후 장애물 둘레를 주행한다.

[규칙 7] 이동 로봇은 위의 과정을 만족하면서 목표 위치까지 주행한다.

그림 7은 위의 과정을 통하여 이동 로봇의 전체 영역 주행을 보여준다. 이 방법은 가능한 통과한 셀은 다시 통과하지 않으며 작업 영역에 대한 정보를 알지 못하는 미지의 환경에서도 전체 영역 주행이 가능하다.

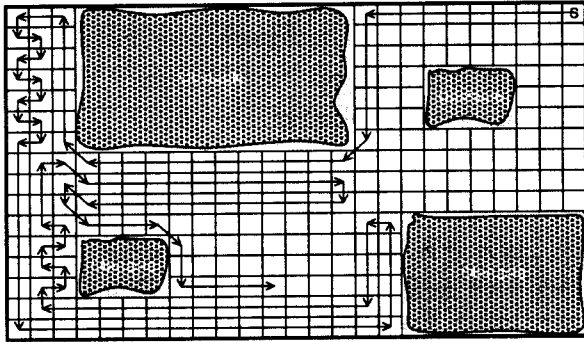


그림 7 미지의 환경에서의 전체 영역 주행
Fig. 7 Complete coverage navigation method in unknown environment

4. 새로운 경로 계획 방법

4.1 삼각형 지도에서의 거리 변환 방법

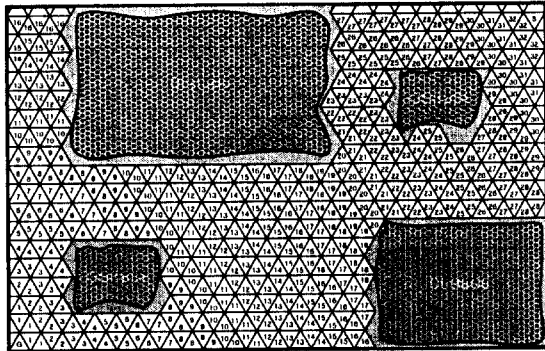


그림 8 장애물과 거리값을 갖는 삼각형 환경 지도
Fig. 8 Triangular map for environment with obstacles and distance value

삼각형 지도에서의 거리 변환 방법은 기본적인 방법은 삼각형 지도를 이용한 경우와 동일하다. 작업 환경의 모든 자유 공간 셀에 목표 위치로부터의 현재의 셀까지의 거리값을 할당한다. 위의 그림 8은 삼각형 지도에 작업 환경 지도내의 장애물과 각 셀에 할당된 거리값을 나타낸다.

4.2 삼각형 지도에서의 4진 트리 표현 방법

작업 영역에 대한 삼각형 표현 지도의 경우도 그리드형 지도의 경우와 동일하게 초기 작업 공간을 일정한 크기의 셀로 나누어 표현하므로 작업 공간의 크기가 증가함에 따라 많은 수의 셀이 필요하고 이에 따라 많은 메모리가 요구된다. 그림 9는 삼각형 셀에서 4진 트리 환경 정보를 구성한 것이다. 그림 10은 본 논문에서 제안한 삼각형 표현의 지도에서 4진 트리 환경 정보를 구성한 것이다.

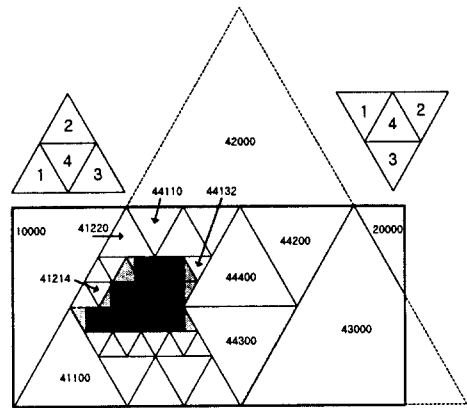


그림 9 삼각형 환경 지도에 대한 4진 트리 표현
Fig. 9 Quadtree representation for triangular environment map

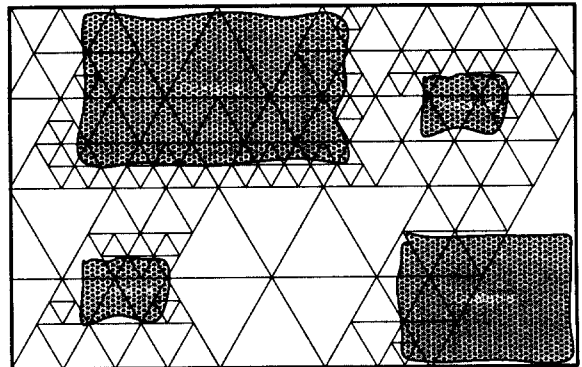


그림 10 삼각형 지도의 4진 트리 변환
Fig. 10 Quadtree representation for triangular map

4.3 삼각형 표현 지도에서의 새로운 경로 계획 방법

이동 로봇의 주행을 위한 경로 계획을 하기 위해서는 우선적으로 전체 작업 환경에 대한 정보를 획득해야 한다. 이 과정은 3.2절의 전체 영역 주행을 통하여 수행 된다. 이동 로봇은 4진 트리 환경 정보를 구성하기 전의 균등한 셀 단위의 작업 환경에서 모든 영역을 주행하면서 각 셀에 대한

장애물과의 거리값 및 현재 셀에서 목표 위치까지의 거리를 계산한다. 전체 영역 주행 후에 전체 작업 영역에 대한 4진 트리 환경 정보를 구성한다. 장애물의 외곽은 그림 11과 같이 최소 단위의 셀로 둘러싸이도록 표현한다.

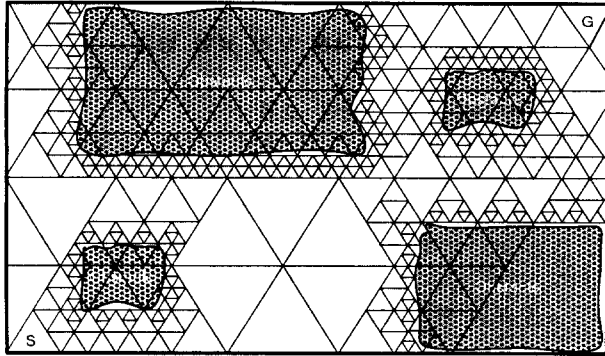


그림 11 삼각형 지도의 4진 트리 변환
Fig. 11 Quadtree representation for triangular map

다음 단계로, 구성된 4진 트리 표현 지도의 각 셀에 CV(cell value) 값을 할당한다. CV 값은 기존 거리 변환(distance transform) 방법[10]에 기초하여 목표 위치와 현재 위치 사이의 누적되는 거리값을 가장 크게 비중을 두었으며 셀의 크기 및 장애물부터의 거리값에 따라 결정되는 값으로서 식 (1)에 의해 구해진다. 이때 CV값은 목표 위치로부터 거리가 멀수록 커지고, 셀의 크기 및 장애물과의 거리가 클수록 작아지게 된다.

$$CV = Int \left\{ \left(\sqrt{(X_p - X_s)^2 + (Y_p - Y_s)^2} \right) \dots + DS \right\} \times \frac{a}{2^{CS}} \times \frac{1}{2^{OD}} \quad (1)$$

여기서,

X_p, Y_p : 현재 셀 좌표

X_s, Y_s : 탐색 셀 좌표

DS : 목표 위치에서 현재 위치까지의 누적된 거리값

CS : 셀 크기

OD : 이동 로봇에서 장애물까지의 거리

Int : 정수 변환 연산자

a : 조정 상수값

다음 단계로, 현재의 이동 로봇의 위치에서 목표 위치로의 직선 상에 장애물이 존재하는지를 탐색한다. 장애물이 존재하지 않으면 그 직선을 따라 주행을 하며 장애물이 존재하면 이동 로봇의 위치에서 목표 위치로의 방향으로 장애물의 두 외곽의 셀의 결정한다. 두 셀이 결정되면 두 셀의 CV 값을 비교하여 CV 값이 작은 쪽의 셀로 이동 로봇은 주행한다. 이와 같은 과정을 통하여 이동 로봇은 목표 위치까지로의 주행이 가능하다.

한편 본 논문에서 제안한 전체적인 주행 알고리즘은 그림 12와 같다.

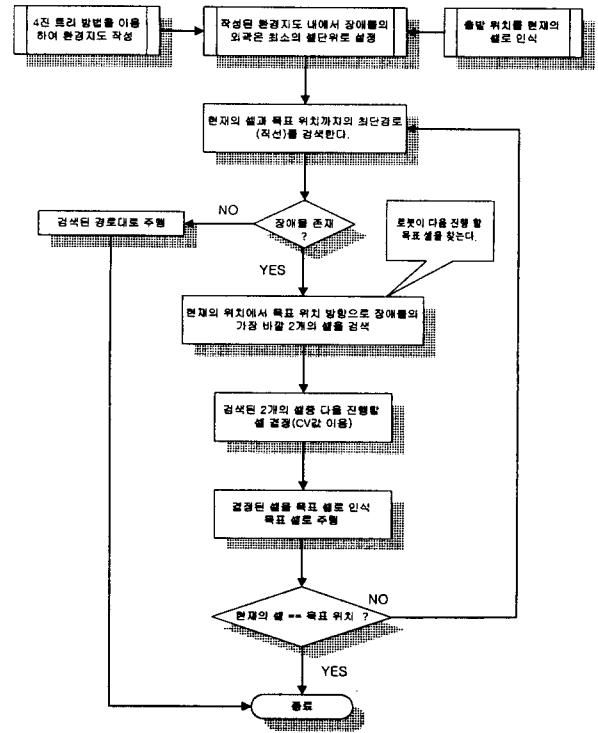


그림 12 주행 알고리즘
Fig. 12 Navigation algorithm

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문의 결과 고찰을 위한 모든 경우의 작업 환경은 동일하며 4개의 장애물을 가진 작업 환경으로 설정하였다. 동일한 장애물을 갖는 작업 환경에 대한 여러 가지 다른 표현을 통하여 본 논문에서 제안한 삼각형 셀 표현 지도와 경로 계획 방법의 효율성을 검증한다.

5.1 삼각형 지도의 효율성

새로운 작업 환경 지도의 효율성을 몇 가지 예제를 통해 검증한다. 예제의 작업 환경은 4개의 장애물을 갖는 16m × 25m의 공간이다.

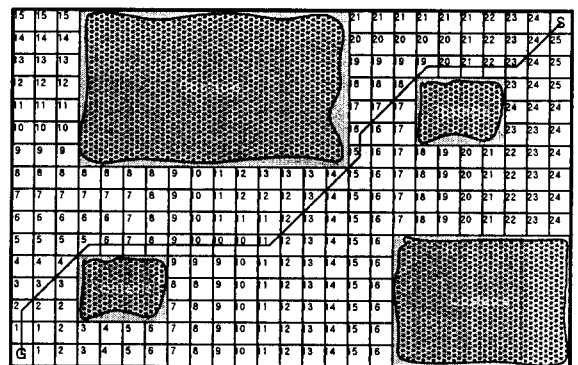


그림 13 사각형 지도를 이용한 이동 로봇의 주행 경로 계획
Fig. 13 Path planning using rectangular map for mobile robot navigation

그림 13은 기존의 사각형 지도를 이용하여 이동 로봇이 초기 출발 위치 S에서 목표 위치 G까지의 경로를 거리 변환 경로 계획 방법을 이용하여 구한 결과를 나타낸다. 이 경우 사각형 지도에서의 주행 경로의 길이는 약 32.37m이다.

그림 14는 본 논문에서 제안한 삼각형 지도를 이용하여 초기 위치 S에서 목표 위치 G까지의 경로를 구한 결과를 나타낸다.

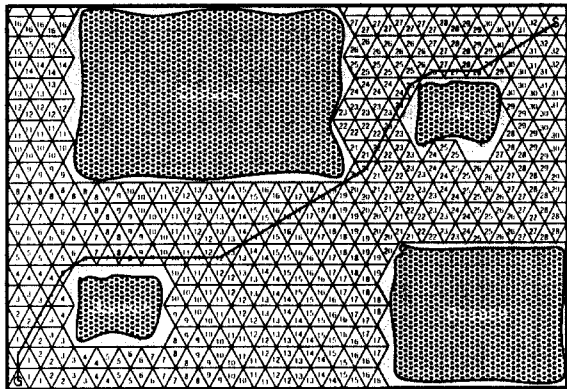


그림 14 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 주행 경로 계획
Fig. 14 Path planning using triangular map for mobile robot navigation

그림 13과 그림 14의 결과로부터 삼각형 지도를 이용한 경우가 사각형 지도를 이용해서 주행한 경우보다 이동 로봇의 주행 방향이 증가하기 때문에 더욱 짧은 경로를 통하여 유연하게 장애물을 회피함을 확인할 수 있다. 이 경우 주행 경로는 사각형 지도의 32.37m에 비하여 약 30.23m로 감소되었다. 또한 사각형 셀과 삼각형 셀의 한 번의 길이를 동일하게 설정하였기 때문에 셀의 수가 사각형 지도에 비하여 증가하기 때문에 메모리가 많이 요구된다는 단점이 생긴다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 삼각형 셀의 크기를 증가시켜 사각형 지도와 삼각형 지도의 셀의 수를 동일하게 설정한다.

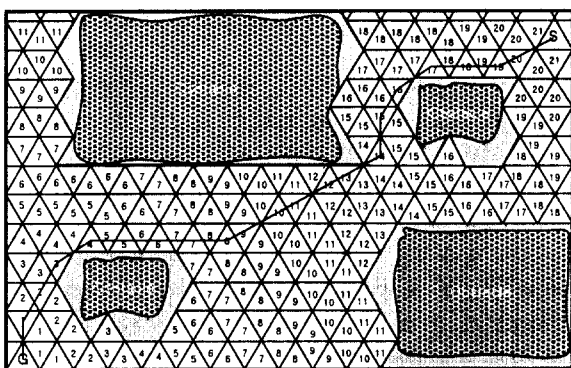


그림 15 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 경로 주행 (동일한 셀 넓이)
Fig. 15 Path planning using triangular map for mobile robot navigation (same cell area)

그림 15는 삼각형 지도에서 셀 크기를 증가시키고 주행한 결과이다. 주행 경로 길이가 감소하고 유연하게 장애물을 회피하는 동일한 결과를 확인할 수 있었다. 사각형 셀과 넓이가 동일하게 설정한 삼각형 지도에서의 경우 주행 경로는 약 29.57m가 되었다. 결과를 통하여 지도의 셀 크기를 설정하는 문제도 경로 계획에서는 중요한 점이라는 것을 알 수 있었다.

그림 16은 동일한 환경에서 삼각형 지도를 이용한 이동 로봇의 주행을 컴퓨터 모의 실험한 결과이다. 거리 변환 경로 계획 방법에 의해 구한 경로대로 유연하게 장애물을 회피하면서 출발 위치에서 목표 위치까지 주행함을 확인할 수 있었다.

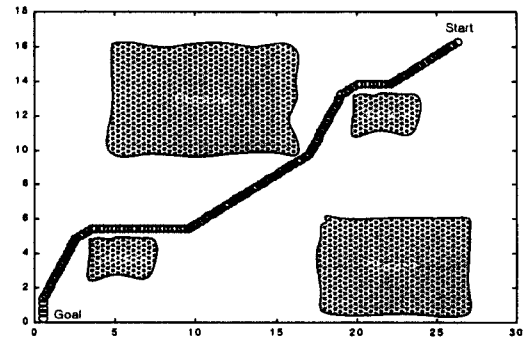


그림 16 제안한 경로 계획을 이용한 컴퓨터 모의 실험 결과
Fig. 16 Computer simulation result using proposed path planning method

5.2 전체 영역 주행을 통한 지도 작성

다음의 결과는 미지의 작업 환경에서 본 논문에서 제안한 전체 영역 주행 방법을 이용하여 확률 지도를 작성한 결과이다. 그림 17의 확률 지도는 확률 지도 작성 방법중 하나인 베이시안 모델(Baysian Model)[14]을 이용하였으며, 5개의 장애물을 갖는 16m×20m의 작업 영역으로 설정하였다.

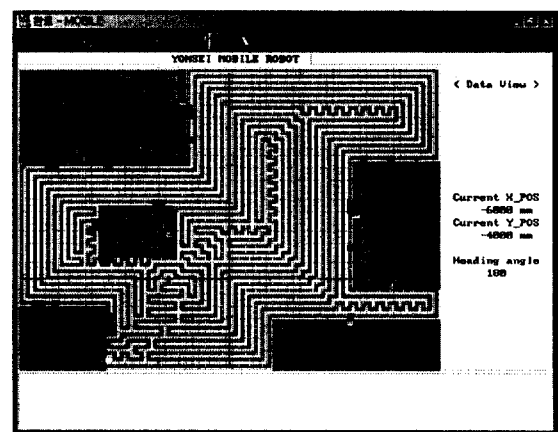


그림 17 전체 영역 주행을 통한 확률 지도의 작성
Fig. 17 Probabilistic map construction through complete coverage navigation

그림 17에서와 같이 이동 로봇은 환경지도 작성을 위해 전체 영역을 완전하게 주행하고 센서로부터 얻은 거리값을 확률적으로 처리하여 장애물의 유,무를 효과적으로 표현한다. 컴퓨터 모의 실험을 통해서 얻어진 결과를 이상적인 지도와 비교하여 보면 전체 3024개의 셀중에서 2991개의 셀을 정확하게 인식하고 33개의 셀을 잘못 인식하였다. 이는 이상적인 지도의 경우와 비교할 때 셀 인식 오차가 약 0.011이므로 이동 로봇의 경로 계획을 위한 환경 지도로서 충분히 사용되어질 수 있음을 보여준다.

5.3 4진 트리 환경 정보를 이용한 새로운 경로 계획

다음 예제는 5.1절의 예제와 같이 4개의 장애물을 갖지만 4진 트리의 효율성을 보이기 위해 23m×44m의 작업 영역으로 설정하였다. 그림 18은 4진 트리 방법을 사각형 지도에 적용한 결과이다.

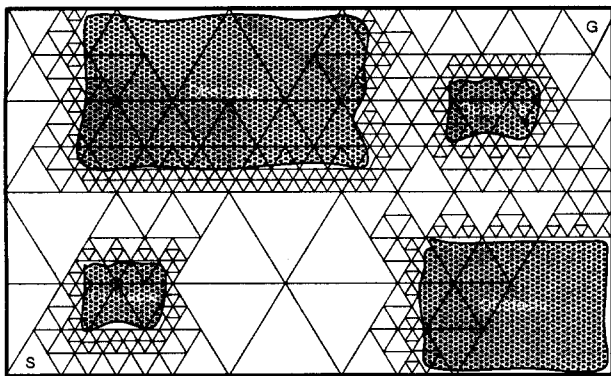


그림 18 삼각형 지도의 4진 트리 변환
Fig. 18 Quadtree representation for triangular map

작업 환경 공간을 처음 1330개의 셀로 설정하였지만 4진 트리 변환 후 454개로 약 34.15%로 감소하였다. 그림 19는 본 논문에서 제안한 경로 계획 방법을 통하여 경로 계획을 한 결과이다. 여기서 α 값은 100으로 설정하였다.

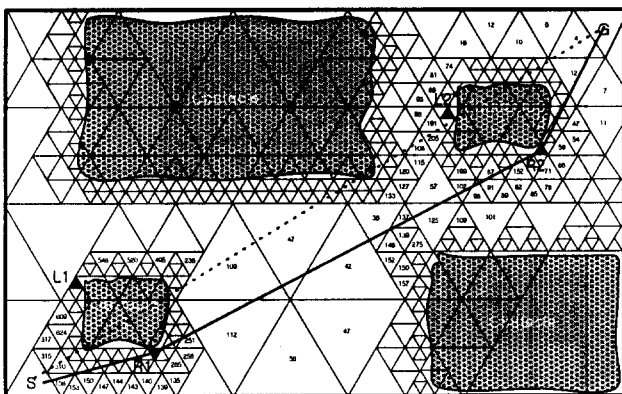


그림 19 이동 로봇의 주행을 위한 새로운 경로 계획 방법
Fig. 19 New path planning method for mobile robot navigation

그림 19의 결과를 보면 이동 로봇의 출발 위치에서 목표 위치까지의 최단 경로인 직선 상에 두 개의 장애물이 존재하는 것을 알 수 있다. 이동 로봇의 현재의 위치에서 목표 위치로의 직선에서 장애물을 만나면 장애물의 가장 바깥쪽 두 셀의 CV 값을 비교하여 값이 작은 셀로 이동하게 된다. 그림에서 이동 로봇은 첫 번째 장애물을 만나면 셀 L1과 R1의 CV 값을 비교한 결과 L1의 CV 값은 1159이고 R1은 1071이기 때문에 이동 로봇은 셀 R1으로 이동하게 된다. 반복해서, 현재의 위치에서 목표 위치로의 직선상의 두 번째 장애물의 가장 바깥쪽 두 셀의 CV 값을 비교한 결과 L2는 360이고 R2는 277이기 때문에 이동 로봇은 다시 셀 R2로 이동하게 된다. 다시 현재의 위치에서 목표 위치로의 장애물을 탐색한 결과 장애물이 존재하지 않기 때문에 이동 로봇은 목표 위치로 주행할 수 있다. 이 경우 주행 경로는 약 47.82m이며 5.1절의 예제 환경으로 변환하면 27.2m로 기존의 거리 변환 경로 계획 방법을 통하여 구한 경로보다 짧은 경로를 통하여 이동 로봇이 출발 위치에서 목표 위치까지 주행할 수 있음을 나타낸다.

또한 장애물에 대한 안전도를 고려한다면 본 논문에서 제안한 경로 계획 방법에서 장애물의 가장 끝 두 셀을 찾는 경우 안전도에 대한 문턱값을 장애물과의 거리에 따라서 정하고 문턱값 이상이면 그 셀을 장애물로 인식하고 다시 주위의 셀을 탐색한다. 만약 문턱값 미만이면 각각 두 개의 셀의 CV 값을 비교하여 이동 로봇은 보다 안전하게 목표 위치로의 주행이 가능할 것이다.

6. 결론

본 논문에서는 이동 로봇의 경로 계획에서 주로 사용되는 사각형 셀로 구성되는 지도 작성 방법을 이동 로봇의 진행 방향을 증가시킬 수 있는 삼각형 셀로 구성되는 지도를 작성하는 방법과 이를 이용한 새로운 경로 계획 방법을 제안하였다. 이동 로봇의 경로가 사각형의 셀에서는 8 방향의 진행 방향을 갖는 반면 삼각형 셀을 사용하면 이동 로봇의 경로가 12 방향으로 증가함으로써 더욱 짧은 경로를 계획할 수 있으며, 이동 로봇은 더욱 유연하게 장애물을 회피할 수 있음을 동일한 작업 공간 내에서 몇 가지 예제와 컴퓨터 모의 실험을 통하여 검증하였다. 또한 본 논문에서는 지도 작성을 위한 전체 영역 주행 방법을 제안하였는데, 미지의 작업 환경에서 본 논문의 방법을 이용하여 가능한 짧은 경로로 전체 작업 영역을 주행할 수 있음을 확인하였다. 그리고 균등한 전체 지도의 셀에 대한 모든 정보를 처리하는 경우 메모리의 효율성을 위한 4진 트리 표현 방법을 삼각형 셀 표현의 지도에 적용하였으며 변환된 4진 트리 표현의 지도를 이용하여 좀 더 짧은 경로를 구할 수 있는 새로운 경로 계획 방법을 제안하였다.

본 논문의 예제 작업에서 설정한 작업 환경은 4개의 장애물을 갖는 단순한 공간이나, 작업 환경이 더욱 복잡한 경우 제안한 새로운 지도의 효율성은 더욱 증가할 것이고 12 방향의 방향성을 갖는 삼각형 표현 및 전체 영역 주행 방법은 이동 로봇의 경로 계획을 위한 지도 작성뿐만 아니라 여러

분야에서도 적용 가능할 것이라 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업 핵심분야의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] R. Kuc and B. Barshan, "Navigation Vehicles through an Unstructured Environment with Sonar", Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automation, pp. 1422-1426, 1989.

[2] J. Borenstein and Y. Koren, "Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors," IEEE Trans. on Robotics and Automation., Vol. 4, No. 2, pp. 213-218, 1988.

[3] J. Borenstein and Y. Koren, "Realtime Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", IEEE Trans. on Systems Man Cyben, Vol. 19, No.5 pp. 1179-1187, 1989.

[4] J. L. Crowley, "World Modelling and Position Estimation for a Mobile Robot using Ultrasonic Ranging," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automation, pp. 674-680, 1989.

[5] J. IZelek, "Complete Real-time Path Planning During Sensor Discovery", Proc. IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robot and Systems, 1399-1404, 1998

[6] A. M. Thompson, "The Navigation System for the JPL Robot" Proc. Joint Conf. Artificial Intell., pp. 749-757, 1977.

[7] 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, 1985.

[8] H. P. Morevec and A. Elfes, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation., pp. 116-121, 1985.

[9] J. L. Crowley, "Navigation for an Intelligent Mobile Robot", IEEE J. Robotics Automation., Vol. 1, no. 1, pp. 31-41, 1985.

[10] Z. Alexander, "A Mobile Robot Exploration Algorithm", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 8, No. 6, pp. 707-717, 1992.

[11] A. Zelinsky, "Planning Paths of Complete Coverage of an Unstructured Environment by a Mobile Robot", International Journal of Robotics Research, 1994, Vol. 13, No. 4, pp. 315

[12] G. Schmidt, "An Overall Approach to Improve Task-relevant Motion and Guidance of Cleaning Robots", Rroc. IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles, Madrid, Spain, 1998

[13] B. Yamauchi, "A Frontier Based Approach for Autonomous Exploration", submitted to IEEE

International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Monterey, CA, 10-11, 1997

[14] J. H. Lim, D. W. Jo, "Physically based sensor modeling for a sonar map in a specular environment", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.2, pp. 1714-1719, 1992

저 자 소 개



오 준 섭 (吳 俊 燮)

1997년 경기대학교 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 연세대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 박사과정

Tel : 02-361-2773, Fax : 02-362-4539
E-mail : jsch@control.yonsei.ac.kr



박 진 배 (朴 珍 培)

1977년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985년 ~ 1990년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학). 1990년 ~ 1991년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 조교수. 현재 연세

대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 부교수
Tel : 02-361-2773, Fax : 02-362-4539
E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr



최 윤 호 (崔 允 浩)

1980년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학). 현재 경기대학교 전자·기계공학부 부교수

Tel : 0331-249-9801, Fax : 02-362-4539
E-mail : yhchoi@kuic.kyonggi.ac.kr