

초음파센서를 이용한 이동로봇의 네트워크 환경모델 구성

Building a Network Model for a Mobile Robot using Sonar Sensors

정 학 영, 박 솔 일, 이 장 규
(Hakyoung Chung, Sollip Park, and Jang Gyu Lee)

Abstract : A mobile robot in FMS environment should be able to navigate itself. Therefore, path planning is necessary for the mobile robot to perform its tasks without being lost. Path planning using a network model gives optimal paths to every pair of nodes but building this model demands accurate information of environments. In this paper, a method to build a network model using sonar sensors is presented. The main idea is to build a quad tree model by using sonar sensors and convert the model to a network model for path planning. The new method has been implemented on a mobile robot. Experimental results show that the mobile robot constructs an accurate network model using inaccurate sonar data.

Keywords : autonomous mobile robot, grid model, network model, sonar sensor, path planning

I. 서론

이동로봇이 환경에 대한 정보 없이 주행하는 경우에는 미로를 빠져 나오지 못하는 경우, 최적경로로 주행하지 못하고 먼 길로 우회하는 경우, 또는 한번 지나온 경로를 반복해서 다시 주행하는 경우가 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 근본적으로 해결하기 위해서는 주행시 환경에 대한 정보를 이용하여야 한다. 환경정보를 이용하는 방법으로는 장애물을 이동로봇의 크기에 따라 확장하고 이동로봇을 하나의 점으로 가정하여 문제를 단순화시킨 후 경로를 구하는 방법[1], 이동로봇과 장애물과의 충돌회피를 거리함수로 표시한 후 상태변수와 입력의 제한조건을 갖는 최적 제어문제로 해결하는 거리함수(distance function) 이용방법[2], 작업공간을 이차원 평면으로 가정하고 격자형(grid type) 환경정보를 이용하여 경로를 구하는 격자탐색방법[3], 그리고 작업공간을 노드와 에지로 구성된 네트워크로 표현한 후 에지들의 연결에 의하여 경로를 구하는 네트워크방법[4]-[6] 등이 있다. 여기서 격자탐색방법을 제외한 다른 방법들은 경로계획에 필요한 정확한 환경모델이 주어진다고 가정하고 있으며 주어진 환경모델에 대하여는 최적경로를 구할 수 있다. 그러나 이동로봇에 사용되는 저가의 센서들이 제공하는 정보는 부정확하기 때문에 이동로봇 스스로 정확한 환경모델을 구하기 어려워 인간에 의하여 정확한 환경모델이 주어진다고 가정한다. 반면 격자탐색방법은 센서 데이터의 부정확성을 고려할 수는 있지만, 두 지점 사이의 경로만을 구할 수 있으며 다른 지점 사이의 경로를 구할 때에는 전체 환경모델을 다시 설계해야 하는 단점이 있다. 그러므로 이동로봇에 사용되는 센서의 부정확한 환경정보를 이용하여 전체 작업환경의 경로 계획에 사용될 수 있는 환경모델을 구하는 알고리즘 개

발이 필요하다.

본 논문에서는 격자형 환경정보와 네트워크 환경모델의 장점을 수용하면서 두 모델의 문제점을 보완할 수 있는 환경모델 설계기법을 제안한다. 즉 부정확한 센서 정보를 보완할 수 있는 격자형 환경 모델로 작업 환경을 인식한 후 이를 경로 계획에 적합한 네트워크 모델로 전환하는 방법을 제안한다.

II. 격자형 환경정보 구성

격자형 환경정보는 이동로봇의 작업 공간을 2차원 평면으로 가정하고 전체공간을 일정한 형태의 격자 집합으로 표현한 후 각 격자에 대한 장애물 유무의 가능성 정도를 나타내는 확실성값(certainty value)을 할당하여 환경을 표현하는 방법이다[7][8]. 확실성 값이 0인 격자는 장애물이 없는 격자이고 확실성 값이 클수록 그 격자 안에 장애물이 존재할 가능성이 커진다. 격자형 환경정보의 구성에 쓰이는 초음파 센서는 초음파를 발사하여 장애물에 의해 반사되어 돌아오는 초음파 에코(echo)를 수신한 후 그 시간간격을 측정하여 장애물까지의 거리를 계산한다. 그러나 초음파 센서는 다음과 같은 특성에 의하여 정확한 정보를 제공하지 못하는 경우가 있다[9].

1) 방향 부정확성(poor directionality) : 초음파 빔은 약 30도의 콘형태 범위(conic field)를 가지므로 초음파 센서가 제공하는 정보는 그 각도 안에 위치하는 장애물과의 거리 정보이며 장애물의 정확한 위치 정보는 아니다.

2) 외란 민감성(frequent misreadings) : 초음파센서는 근처의 전자기적인 원인에 의한 전기적인 잡음, 가까이 에 위치한 센서들의 반향파 간섭, 음향학적으로 반사되는 환경에서의 산란 등으로 오차가 발생하게 된다.

3) 반사각 민감성(specular reflections) : 거울효과라고도 한다. 장애물의 표면이 매끄러운 경우 초음파 센서는 초음파 빔과 장애물의 표면이 이루는 각도가 25도 이상인 경우에는 반사되는 초음파 양이 작아 그 장애물을 인식하지 못한다.

접수일자 : 1998 4 20, 수정완료 : 1999 4 20

정학영 서울산업대학교 제어계측공학과

박솔일 삼성전자

이장규 : 서울대학교 전기공학부

※ 본 연구는 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다.

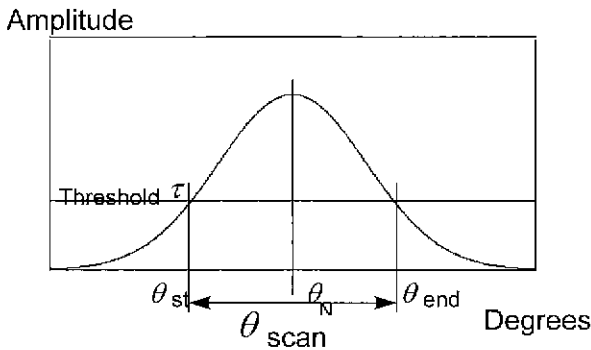


그림 1. 각도에 따른 초음파와 에코의 크기
Fig. 1. Characteristics of a sonar echo.

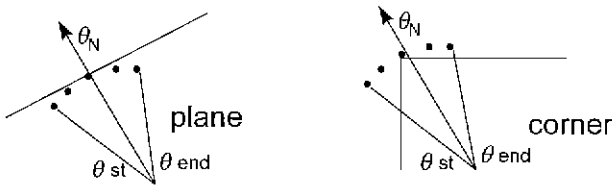


그림 2. 평면과 구석에서의 RCD 형성.
Fig. 2. Plane and corner target models.

또한 초음파의 콘형대 특성으로 인해 평면(혹은 구석)에서 반사되는 초음파의 크기를 초음파와 평면(혹은 구석)과의 각도에 따라 표현하면 그림 1과 같은 가우시안(Gaussian) 곡선으로 다음과 같다[10].

$$A(\theta) = A_r \cdot \exp(-4(\theta - \theta_N)^2 / \theta_0^2)$$

여기서 θ 는 초음파센서의 시선각이며 A_r 와 θ_0 는 초음파센서 특성에 따라 결정되는 상수이다.

이때 최대 크기의 반사파가 돌아오는 각도 θ_N 은 그림 2에서와 같이 평면인 경우 평면과의 수직각도이고 구석의 경우 구석의 각을 이등분하는 각도이다. 반사되어 돌아온 초음파의 크기가 정해진 기준 값 이상이 되면 반사파로 감지하므로 그림 2의 θ_{st} 와 θ_{end} 사이에서 반사파가 감지되고 초음파 센서는 일정각도 안에서 장애물과의 최단거리를 제공한다. 따라서 각도를 변화시키며 측정된 거리값을 초음파 센서의 중심축에 표시하면 그림 2와 같이 θ_N 를 중심으로 대칭을 이루는 호가 형성된다 이를 RCD(Region of Constant Depth)[9]라 한다 이러한 특성으로 인해 초음파 센서가 제공하는 모든 거리정보를 이용하여 확실성 값을 할당하면 그림 2의 θ_{st} 와 θ_{end} 부근에서 잘못된 확실성값이 할당되어 부정확한 환경정보가 구성된다.

기존의 방법에서 초음파 센서의 반사각 민감성으로 인한 오차는 여러 개의 센서를 원형으로 배치하여 보정될 수 있고 방향 부정확성으로 인한 오차는 초음파 센서가 제공하는 거리정보의 호위에 위치하는 격자들에 대해 센서의 중심축과의 거리에 반비례하여 확실성값을 할당하여 보정될 수 있다. 초음파 센서의 외란 민감성으로 인한 잘못된 거리정보는 산발적으로 측정되므로 누적되

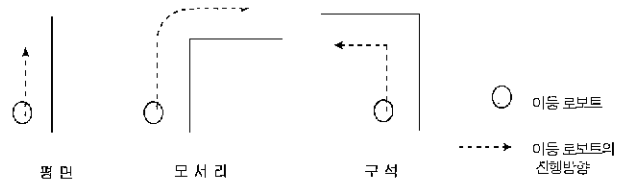


그림 3. 장애물의 분류.
Fig. 3. Typical obstacles.

는 확실성 값에 대하여 일정한 기준값을 넘은 확실성값을 유효 확실성값으로 하여 개선할 수 있다[5][6]. 본 논문에서는 [5][6]에서 사용한 방법을 기본으로 하며 초음파와 센서의 RCD 특성으로 인한 오차를 보정하기 위해 장애물을 그림 3과 같이 평면, 구석, 모서리로 나누고 장애물의 특성에 맞게 오차를 보완하는 방법을 제시한다.

1) 평면의 경우 원형으로 배치된 센서를 이용하여 이동로봇과 장애물과의 거리를 계산하고 이 거리값과 큰 차이를 갖는 초음파와 센서의 거리 측정값은 외란에 의한 잘못된 값으로 판단한다.

2) 모서리의 경우에는 초음파와 센서의 각 모호성을 보완하기 위해, 정확한 각도정보를 제공하는 적외선 센서와 함께 사용한다. 즉 적외선센서를 초음파센서와 동일한 방향에 설치한 후 적외선 센서가 장애물을 감지한 경우에만 초음파센서 정보를 이용하여 격자형 환경정보를 구성한다. 그러나 적외선센서가 거리값을 제공하지 못하고 일정한 거리내의 장애물 유무에 대한 정보만을 제공하므로 요철의 깊이가 크지 않은 경우에는 개선되지 않는다.

3) 구석의 경우 초음파와 센서의 RCD특성으로 인해 꼭지점의 좌우부근에서 부정확한 거리값이 지속적으로 측정된다 따라서 정확한 환경정보를 구성하기 위하여 장애물이 구석으로 판단되면 구석의 꼭지점에 해당하는 초음파 센서 측정값만을 정확한 거리정보로 판단하고 나머지 거리 측정값들은 격자형 환경정보 구성에서 제외시킨다.

15° 간격으로 원형 배치된 초음파 센서들의 구석에서의 거리측정값 패턴은 그림 4와 같이 W형태로 대칭을 이루므로 이동 로봇은 초음파 센서들의 거리측정값과 구석에서의 초음파 센서들의 패턴을 비교하여 주어질 위치가 구석인지 아닌지를 판단한다. 구석의 각도가 60° 정도로 예리해지는 경우 구석을 바라보는 중심부에서 더 멀리 설치된 센서와 벽과 이루는 각도가 직교에 가깝게 되어 W형태가 넓어지게 되며 이와 반대로 각도가 90° 보다 넓어지는 경우는 구석을 바라보는 중심부에 가깝게 설치된 센서와 벽과 이루는 각도가 직교에 가깝게 되어 W형태가 좁아지게 된다. 장애물이 구석으로 판단되면, 이동로봇은 제자리에서 회전하면서 대칭성을 이용하여 구석의 꼭지점을 향하는 초음파 센서의 거리 측정값만을 이용하여 확실성값을 할당한다 위와 같은 방법을 사용하여 구석의 꼭지점에 위치하는 격자에만 확실성값을 할당하면 그림 5과 같이 꼭지점 부근에 위치한 격자들은 장애물이 존재함에도 불구하고 격자형 환경정보에서 장

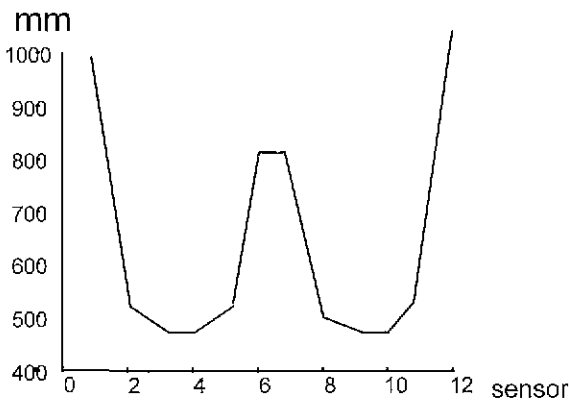
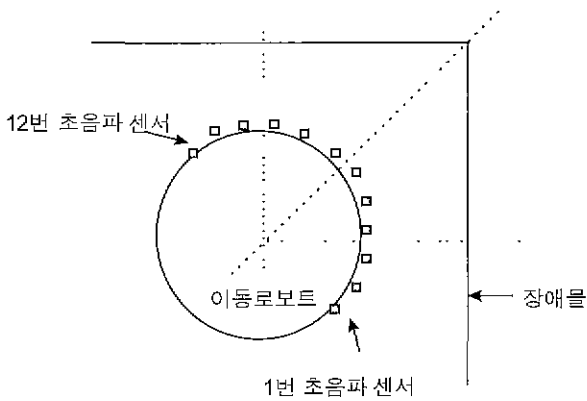


그림 4 구석에서의 초음파 센서 배치와 거리정보 패턴.
Fig. 4. Typical corner response.

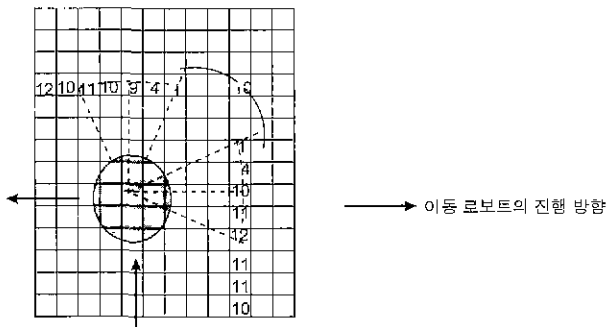


그림 5 구석에서의 확실성값 결정방법.
Fig. 5. Examples of certainly grid values of a corner

장애물이 존재하지 않는 격자로 표현된다. 그러나 본 논문에서 제시한 환경정보 구성 방법은 초음파 센서의 측정 거리를 제한하는 벽 따라가기를 사용하므로 벽과 이동로봇의 거리가 제한되고 따라서 그림 5에서 장애물이 존재함에도 불구하고 빈 격자로 표현되는 구간도 제한된다. 또한 이동로봇이 통과할 수 없을 정도의 빈 공간은 전체 경로계획에 영향을 미치지 않으므로 문제가 되지 않는다. 전체공간을 동일한 크기의 격자로 표현하면 작업 공간이 넓은 경우에는 격자형 환경정보의 격자수가 증가하여 격자정보 저장을 위한 메모리가 많이 소요된다. 본 논문에서는 격자형 환경정보의 메모리 문제를 해

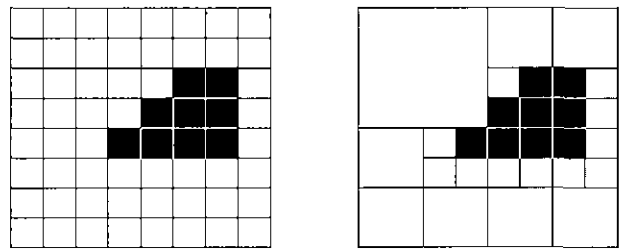


그림 6. 격자형 환경정보와 쿼드트리 환경정보의 비교.
Fig. 6. Comparison of grid models

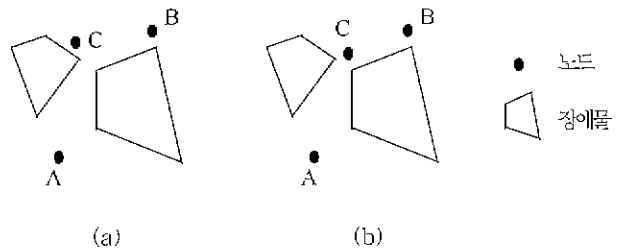


그림 7. 노드 위치 설정에 따른 경로 예. (a) 잘못된 노드 위치(undesired node location). (b) 올바른 노드 위치(desired node location).
Fig. 7 Node locations.

결하기 위하여 쿼드트리(quadtree)[11]를 이용한다. 쿼드트리 환경 정보는 공간내의 장애물 특성에 따라 격자의 크기를 다르게 하는 방법으로 장애물이 없는 넓은 공간이나 큰 장애물이 있는 공간은 하나의 큰 격자로 표현하고, 장애물이 부분적으로 존재하는 공간은 순차적으로 세분화된 작은 격자로 표현한다[1]. 따라서 동일한 작업 공간을 표현하고자 할 때 격자형 환경정보에 비해 격자수가 감소한다. 그림 6에서 이 두 환경정보를 비교하면 동일한 환경을 표현하기 위한 격자수가 격자형 환경정보는 64개이고 쿼드트리 환경정보는 28개로 쿼드트리 환경정보가 메모리 측면에서 보다 효율적임을 알 수 있다.

III. 네트워크 환경모델 구성법

네트워크 환경모델은 작업환경을 노드와 에지로 표현한다. 네트워크 환경모델 구성에서 노드 설정은 효과적인 경로계획을 위하여 매우 중요하다. 먼저 노드 수는 경로계획 알고리즘의 계산량을 결정하므로 노드가 불필요하게 설정되는 경우를 줄여야 한다. 또한 노드 위치를 잘못 설정하여 두 노드사이에 이동로봇이 주행 가능한 경로가 존재하는 데도 네트워크 환경모델에서 이 두 노드를 연결하는 경로가 존재하지 않는 것으로 표현되어서는 안된다. 그림 7(a)는 잘못 설정된 노드의 예로써 두 노드 A, B간에 이동로봇이 주행 가능한 경로가 존재하는데도 잘못 위치한 노드C로 인하여 노드 A와 노드B를 연결하는 경로가 존재하지 않는다. 이 경우 그림 7(b)와 같이 노드 C의 위치를 수정하면 두 노드 A와 B를 연결하는 경로 A-C-B가 존재한다.

따라서 이동로봇이 주행할 수 있는 모든 경로를 적은 수의 노드로 표현할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 퀘드트리 모든 격자중심에 노드를 설정하는 방법을 제안한다. 퀘드트리 모든 격자중심에 노드를 설정하면 노드간의 이동로봇이 주행 가능한 모든 경로는 설정된 노드들의 연결로 표현 가능하다. 이를 증명하기 위해서 다음의 정리를 정의한다.

정리 1 : 퀘드트리 환경정보에서 두 퀘드트리가 접한 경우, 두 격자의 중심에 놓인 두 노드를 연결하는 선분은 두 퀘드트리 격자의 크기와 접하는 위치에 관계없이 그 두 퀘드트리 격자만을 통과한다.

증명 그림 8과 같이, 접하는 두 퀘드트리 격자와 그 중심에 놓인 노드를 각각 A, B, O, P라 하자. 또한 두 퀘드트리 격자가 공유하는 접선의 양끝을 U, D, 퀘드트리 격자A의 한 변의 길이를 2d 라 하고 노드O를 중심으로 직각 좌표계OXY를 설정하면 각 점의 좌표와 직선 OP의 식은 다음과 같다

$$P: (a, b), U: (d, b + (a - d)), D: (d, b - (a - d)),$$

$$OP: y = \frac{b}{a}(x - a) + b \quad (a > d > b > 0: \text{조건 A})$$

두 노드 O, P를 연결하는 선분이 두 퀘드트리 격자의 크기와 접하는 위치에 관계없이 두 퀘드트리 격자만을 통과하려면 점 U와 점 D는 각각 선분 OP의 위와 아래에 위치하여야 한다. 따라서 (1)을 만족하여야 한다.

$$b + (a - d) > \frac{b}{a}(d - a) - b > b - (a - d), a > d > b > 0 \quad (1)$$

(1)을 정리하면 다음과 같다.

$$(a - d)(a + b) > 0 \ \& \ (a - d)(a - b) > 0 \quad (2)$$

(2)는 조건 A에 의하여 항상 만족한다. 따라서 접하는 두 퀘드트리 격자의 중심에 놓인 노드를 연결하는 선분은 두 퀘드트리 격자의 크기와 접하는 위치에 관계없이 그 두 퀘드트리 격자만을 통과한다. ■

이제 위의 정리를 이용하여, 퀘드트리 모델에서 모든 격자의 중심에 노드를 설정하면 두 노드 사이의 가능한 경로가 보장됨을 증명하면 다음과 같다. 퀘드트리 모델에서 이동로봇이 주행 가능한 경로는 장애물이 없는 퀘드트리 격자들의 연결로 표현된다. 이 격자들의 중심에 설정된 노드들을 순서대로 연결하면 그 선분들은 위의 정리에 따라 노드들이 속해 있는 격자의 내부에만 존재하므로 장애물이 없는 격자만을 통과한다. 따라서 이동로봇이 주행 가능한 모든 경로는 퀘드트리 모델에서 격자의 중심에 위치한 노드들의 연결로 표현된다. 그러나 앞에서 제시한 노드 설정법은 과도한 수의 노드를 설정하여 네트워크를 이용한 경로계획에서 수행시간이 길어진다.

이를 해결하기 위하여 노드 수를 줄이는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 모든 가능한 경로를 표현하면서 동시에 노드 수를 줄이기 위하여

가시 그래프[12] 개념을 응용한 노드 설정법을 제안한다. 가시 그래프란 '다각형 공간에서 최소경로를 구하기 위해 다각형 장애물의 정점을 노드로 이용하는 네트워크

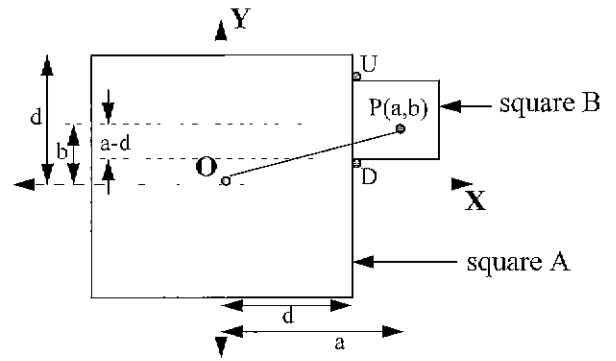


그림 8. 인접한 두 퀘드트리 격자.
Fig. 8. Adjacent quad trees.

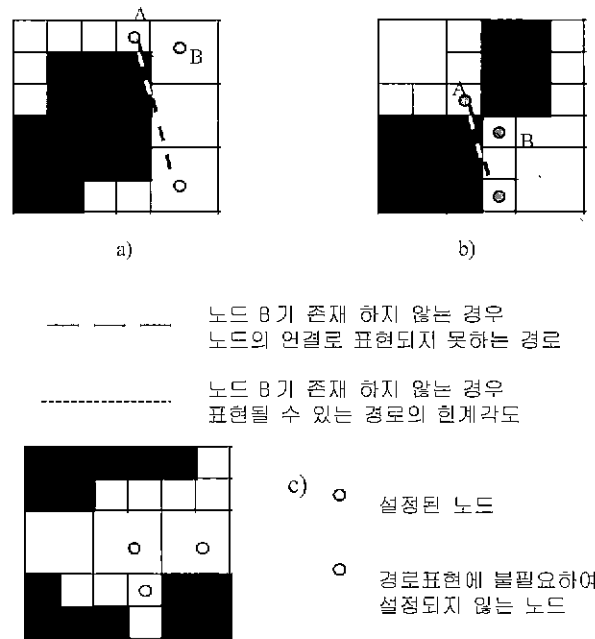


그림 9. 장애물 정점부근에 위치한 노드.
Fig. 9. Node location at the edge of an obstacle.

이다. 본 논문에서 제시한 방법은 다음과 같다. 퀘드트리 환경정보에서 장애물의 정점을 포함하는 비어있는 퀘드트리 격자의 위치는 그림 9의 세 경우이다. 이때 그림 9(a), (b)와 같이 장애물의 정점을 포함하는 퀘드트리 격자의 수가 2개일 때는 2개의 노드가 모두 경로 표현에 필요하다. 왜냐하면 그 중 하나의 노드가 설정되지 않으면 경로가 존재하지 않는 노드의 연결로 표현이 불가능한 경우가 생길 수도 있기 때문이다. 따라서 노드 A와 노드B가 설정되면 모든 각도의 경로를 표현할 수 있다. 그러나 그림 9(c)의 경우에는 장애물의 정점을 포함하는 비어있는 모든 퀘드트리 격자에 노드를 설정할 필요는 없다. 가운데 위치한 퀘드트리 격자의 중심에만 노드를 설정하여도 모든 각도의 경로를 표현할 수 있기 때문이다. 따라서 장애물의 정점을 포함하는 비어있는 퀘드트리 격자의 수가 3개인 경우에는 가운데 격자의 중심에만 노드를 설정한다. 그림 10은 퀘드트리 환경정보에 기초한 노드 설정의 예이다. 따라서 위와 같이 가시

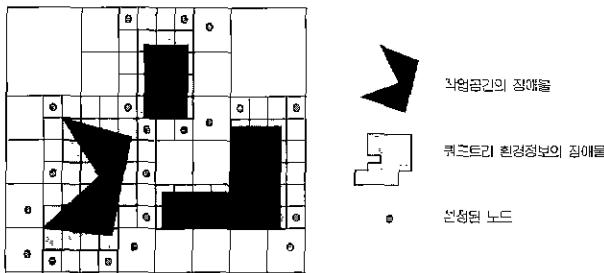


그림 10. 쿼드트리 환경정보에 기초한 노드 설정.
Fig. 10. Example of node locations.

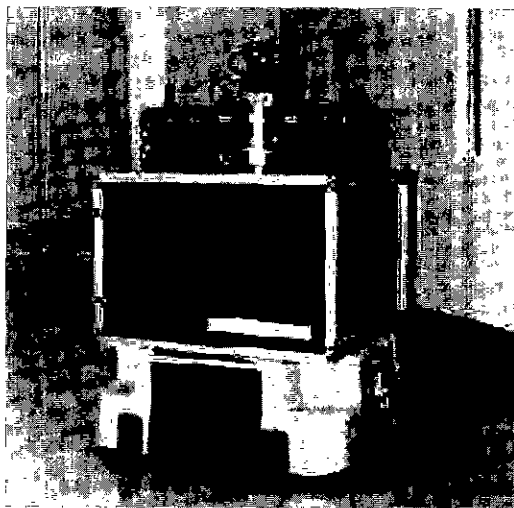


그림 11. 이동로봇.
Fig. 11. The mobile robot.

그래프를 응용하여 장애물의 정점 부근에 위치한 쿼드트리 격자의 중심에 노드를 설정하면 이동로봇이 주행 가능한 모든 경로가 네트워크 환경모델에서 노드의 연결로 표현 가능하다. 가시 그래프의 경우 장애물의 정점에 노드를 설정하여 이동로봇의 정확한 위치제어가 되지 않는 경우 장애물과 충돌할 위험이 있으나 본 논문에서 제시하는 노드 설정법은 장애물의 정점 부근에 위치하는 비어있는 격자의 중심에 노드를 설정하여 장애물과의 충돌 위험성은 감소되고, 모든 경로는 장애물의 정점 부근을 통과하므로 경로도 크게 우회하지 않는다.

에지는 두 노드간의 최소 거리, 최소 시간, 최소 에너지 등으로 정의되는데 본 논문에서는 두 노드간의 최소 거리로 한다. 두 노드를 연결하는 선분 위에 장애물이 존재하지 않는 경우에는 두 노드 사이의 거리를 두 노드간의 에지 값으로 하고 두 노드를 연결하는 선분 위에 장애물이 존재하는 경우에는 두 노드간의 에지 값을 무한대로 한다. 두 노드를 연결하는 선분 위의 장애물 유무는 그 선분이 통과하는 쿼드트리 격자들을 조사하면 쉽게 알 수 있다. 따라서 위와 같이 결정된 네트워크 환경모델에서 경로계획을 하여 구한 경로는 네트워크 환경모델에서 두 노드 사이의 최短路 경로가 된다.

VI. 실험결과

본 논문에서 제시한 환경모델방법을 그림 11의 이동

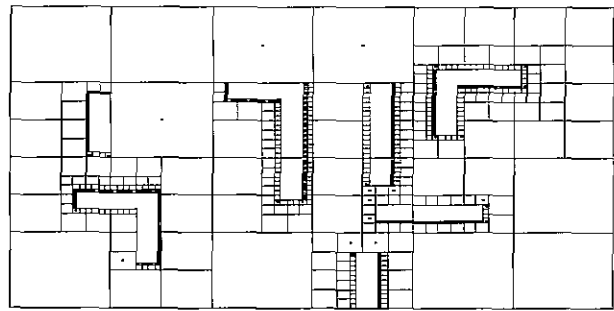


그림 12. 쿼드트리 환경정보를 이용한 노드 설정.
Fig. 12. Example of node locations in a real environment.

로봇을 사용하여 실험하였다. 미국 Helpmate사의 LABMATE를 실험용 베이스로봇으로 이용하였으며 LABMATE는 실험실이나 사무실 환경 하에서 동작하도록 설계된 실내 주행용 이동로봇이다. 환경인지, 경로 계획, 구동제어 등의 기능을 수행하는 제어용 컴퓨터, Pentium 75를 설치하였으며 제어용 컴퓨터와 LABMATE 간의 정보교환은 RS-232C 직렬통신을 사용한다. 구동부는 DC모터에 의하여 제어되는 두개의 구동바퀴와 균형을 위하여 네 모서리에 설치되어 있는 4개의 수동바퀴(caster)로 되어 있다. 이동로봇은 최대 1m/sec의 직진 속도와 128°/sec의 각속도로 주행할 수 있다.

이동로봇은 센서보드에 설치된 초음파센서를 사용하여 물체와의 거리를 감지하고 RS-232C를 통해 제어 컴퓨터에 정보를 전송한다. 센서제어 보드는 총 24개의 초음파센서와 24개의 적외선센서를 제어한다. 초음파센서는 Polaroid사의 송수신 겸용 초음파센서를 사용하였으며 약 15.24cm ~ 1050cm 사이의 거리를 1m당 약 1cm까지 정확하게 측정할 수 있으나, 실제 동작에서는 주변환경이나 센서사이의 간섭, 물체 면의 특성 등에 따라 성능이 떨어진다.

작업공간의 환경정보를 구하기 위해서는 이동로봇이 작업공간의 모든 지점을 주행하여야 한다. 초음파센서와 같은 근접센서를 이용하여 환경정보를 구하는 방법으로 벽 따라가기(wall following) 등을 사용할 수 있으나 이 방법은 공간의 가운데 심처럼 떨어져 있는 물체는 감지할 수 없다. 따라서 격자형 환경정보를 구하기 위한 주행은 사람의 조정에 의하여 수행하였다.

작업환경의 네트워크 환경모델을 구성하기 위하여 격자형 환경정보를 구성했다. 작업환경의 전체 크기는 12.8m×19.2m이며 한 격자의 크기는 10cm×10cm이다. 넓은 공간을 동시에 격자형 환경정보로 표현하려면 너무 많은 메모리가 필요하므로 이를 해결하기 위하여 전체 작업공간을 그림 12와 같이 쿼드트리 형태로 표현하였다.

네트워크 환경모델을 구성하기 위해 노드와 에지를 설정했다. 본 논문에서는 가시 그래프개념을 응용하여 장애물의 모서리에 노드를 설정하였다. 동일한 크기의 격자를 사용한 경우의 노드 수, 쿼드트리 모델에서의 노드 수, 그리고 가시 그래프 개념을 도입하여 제안한 방법을 사용한 경우의 노드 수를 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 환경모델에 따른 노드 수.
Table 1. Comparison of the number of nodes.

격자형 환경모델	쿼드트리 환경모델	가시 그래프 개념의 모델
22,483 개(100%)	717 개(3.189%)	46 개(0.205%)

표 1과 같이 동일한 환경에 대하여 제안한 방법에 의하여 노드 수가 크게 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림 12는 이동로봇을 점으로 모델링하기 위해 장애물을 이동로봇의 크기만큼 확장한 쿼드트리 환경정보에 설정된 노드를 보이며, 그림 13은 노드간의 최소거리를 예지로 하여 구성된 전체 작업환경의 네트워크 환경모델이다.

그러나 사선으로 위치한 장애물의 경우 많은 수의 정점을 갖고 있어 많은 수의 노드가 설정된다. 그림 14는 이러한 예로서 23개의 노드가 설정되었는데 이것은 모든 쿼드트리 격자의 중심에 노드를 설정하는 경우 84개의 노드가 요구되는 것에 비하여 작은 값(27.38%)이기는 하나 앞에서 보인 예와 비교해보면 비 효율적임을 알 수 있다.

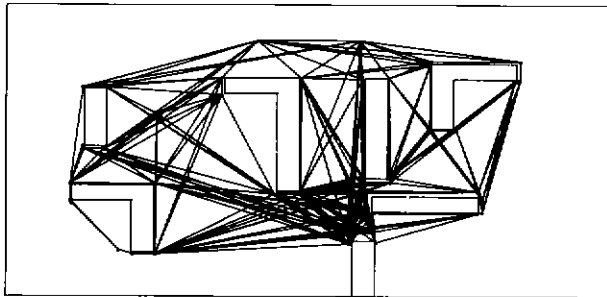


그림 13. 작업환경의 네트워크 환경모델.
Fig. 13. Network model.

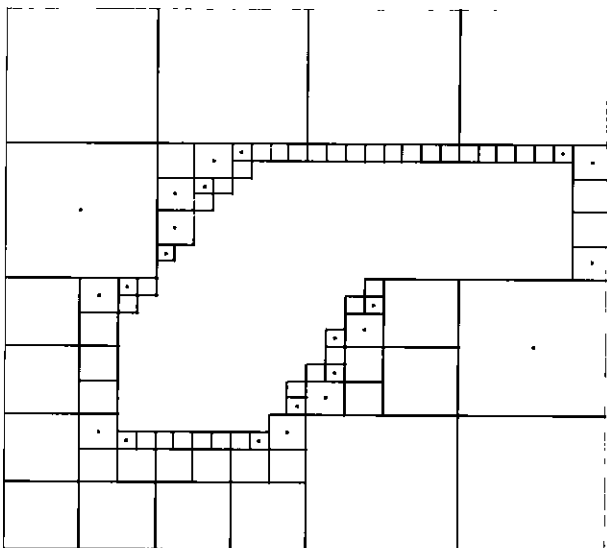


그림 14. 사선으로 위치한 장애물 주위의 노드 설정.
Fig. 14. Node locations for an inclined plane.

V. 결론

전체 작업공간을 노드와 예지로 표현하는 네트워크

환경모델이 주어지면 다양한 방법을 사용하여 모든 노드 쌍간의 최적경로를 구할 수 있다. 그러나 이동로봇가 근접센서를 사용하여 스스로 네트워크를 구성하는 것은 어려운 문제이다. 본 논문에서는 이동로봇 스스로 근접센서의 오차요인을 보정하여 격자형 환경정보를 구성한 후, 격자형 환경정보를 경로 계획에 사용할 네트워크 환경모델로 전환하는 방법을 제시한다. 전환과정에서 격자형 환경정보의 메모리 문제를 해결하기 위하여 쿼드트리 환경정보를 이용하였다.

실험결과 이동로봇 스스로 초음파 센서의 RCD특성을 고려하여 격자형 환경정보를 구하고 이를 이용하여 경로계획에 필요한 네트워크 환경모델을 구성함을 보였다.

본 논문에서 제시한 가시 그래프를 응용한 노드 설정법은 장애물과의 충돌 위험성과 경로의 경제성을 동시에 고려할 수 있는 장점이 있으나 장애물이 사선으로 위치한 경우에 노드 수가 증가하는 단점이 있으며 이에 대한 문제점은 추후 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

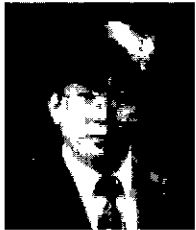
- [1] R A Brooks, "Solving the find-path problem by good representation of free space," *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-13, no. 3, pp. 290-297, 1983.
- [2] E. G. Gilbert and D. W. Johnson, "Distance functions and their application to robot path planning in the presence of obstacle," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. RA-1, no. 1, pp. 21-30, 1985.
- [3] A. Zelinsky, "A mobile robot exploration algorithm," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 8, no. 6, Dec., 1992.
- [4] J G. Lee and H. Chung, "Global path planning for mobile robot with grid-type world model," *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 11, no. 1, pp. 13-21, 1994.
- [5] H. Chung, Y S Choi, and J. G. Lee. "Path planning for a mobile robot with grid type world model." *Proc. 1992 IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robot and Systems*, pp. 439-444, 1992.
- [6] 정학영, 이장규, "네트워크 분할기법을 이용한 자율 주행운반체의 경로계획 (I)-환경모델 구성," *전기학회논문지*, 제44권, 12호, pp. 1675-1679, 1995.
- [7] H. P Moravec, A. Elfes, "High resolution map from wide angle sonar," *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat.*, vol 1, pp. 116-121, Mar., 1985.
- [8] A Elfes. "Sonar-based real-world mapping and navigation." *IEEE J. Robotics Automat.*, vol. RA-3, no. 3, pp. 249-265, 1987.
- [9] J. J. Leonard and H. F. Durrant-whyte, *Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation*, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [10] O. Bozma and R. Kuc. "Building a sonar map in a specular environment using a single mobile

sensor," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 1260-1269, 1991.

[11] H. Samet, "Distance transform for image represented by quadrees," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-4,

no. 3, May, 1982.

[12] K. Kant and S. W. Zucker, "Planning collision-free trajectories in time-varying environments: A two-level hierarchy," *Proc. 1988 IEEE Conf. Of Robotics and Automation*, pp. 1644-1649, 1988.



정 학 영

1983년 서울대 제어계측공학과 졸업. 동대학원 석사(1985), 동대학 박사(1994). 1995년-현재 서울산업대학교 제어계측공학과 조교수. 관심분야는 이동로봇을 위한 항법시스템, 초음파센서를 이용한 환경인지, 차

량경로계획시스템.



박 슬 윷

1994년 서울대학교 제어계측공학과 졸업, 1997년 서울대학교 제어계측공학과 석사. 1997년-현재 삼성전자 정보통신본부. 관심분야는 이동로봇의 환경인지.



이 장 규

1971년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1974년 University of Pittsburgh 석사, 1977 University of Pittsburgh 박사. 1982년-현재 서울대학교 전기공학부 교수. 관심 분야는 항법 유도 제어.