

초음파센서를 이용한 이동로봇의 환경모델 구성

정 학 영* · 김 기 용**

World Modelling for an Autonomous Mobile Robot using Ultrasonic Sensors

Hak young, Chung* · Ki Yong, Kim**

ABSTRACT

This paper presents a new methodology of world modelling for path planning of an autonomous mobile robot. A network which is composed of nodes and edges and necessary for path planning is built in a grid type world model. The grid type world model is calculated from the readings of sonar sensors. In the calculation, a way of utilizing neighbouring sonar sensor readings is introduced, resulting in a more accurate world model. The new methodology has been implemented on a mobile robot whose role is to transport materials in a FMS(Flexible Manufacturing System). Results show that the proposed method satisfactorily represents a precise environment, and converts the grid type world model to a network.

Key words: autonomous mobile robot, world modelling, path planning, sonar sensor, grid

요 약 문

본 논문에서는 자율주행운반체의 경로 계획에 필요한 환경모델을 구하는 새로운 기법을 제안한다. 경로 계획에 필요한 노드와 에지로 구성된 네트워크 형태의 환경모델은 격자 형태의 환경정보로부터 구하며 격자형 환경정보는 초음파센서를 이용하여 구한다. 부정확한 초음파센서로부터 정확한 환경정

* 서울산업대학교 제어계측공학과 전임강사

** 서울산업대학교 제어계측공학과 교수

보를 구하기 위하여 이웃한 초음파센서의 측정값을 동시에 사용하는 방법을 제안한다. 제안한 기법의 실제 적용을 위하여 자동화공장에서 사용되는 자율주행운반체의 환경모델 구현에 적용하였다. 실험결과 다중센서시스템을 사용하여 개선된 환경정보를 구할 수 있었으며 그 환경정보를 이용하여 운반체 스스로 네트워크를 구할 수 있음을 보였다.

1. 서론

자동화 공장에서 물류를 운반하는 무인 운반체는 일정한 경로만을 반복주행하는 고정궤도 방식이 주류를 이루고 있다. 그러나 이와 같은 운반체는 경로 상에 장애물이 있는 경우 그 장애물이 제거될 때까지 기다려야 하며 공장 내부구조 변경시 궤도를 다시 설치해야 하는 단점이 있다. 따라서 이와 같은 상황에 능동적으로 대처할 수 있는 자율주행 방식의 운반체가 요구된다.

자율주행운반체는 인간의 제어없이 다양한 형태의 작업공간에서 임무를 수행할 수 있어야 하며, 주행방법은 크게 환경에 대한 정보없이 주행하는 경우와 환경정보를 이용하여 주행하는 경우로 구분된다. 환경정보가 없는 경우는 거리센서나 접촉센서를 사용하여 가까운 거리에 위치한 장애물에 대한 정보를 활용하여 주행한다. 그러나 주행 중에 미로에서 빠져나오지 못하거나 최적경로로 주행하지 못하고 먼길로 우회하는 경우, 또는 한번 지나온 경로를 반복해서 다시 주행하는 경우가 있다. 이와 같은 문제점을 근본적으로 해결하기 위하여 환경정보를 이용하여야 한다. 환경정보를 이용하는 방법으로는 장애물을 운반체의 크기에 따라 확장하고 운반체를 하나의 점으로 가정하여 문제를 단순화시킨 후 경로를 구하는 방법⁽¹⁾, 운반체와 장애물과의 충돌회피를 거리함수로 표시한 후 상태변수와 입력의 제한조건을 갖는 최적 제어문제로 해결하는 거리함수(distance function) 이용방법⁽²⁾, 운반체의 작업공간을 이차원 평면으로 가정하고 격자형 환경모델(grid type world model)을 이용하여 경로를 구하는 격자탐색방법⁽³⁾, 그리고 운반체의 작업공간을 노드와 에지로 구성된 네트워크로 표현한 후 에지들의 연결에 의하여 경로를 구하는 네트워크방법^{(4), (5)} 등이 있다. 그러나 격자탐색 방법을 제외한 방법들은 경로계획에 필요한 정확

한 환경모델이 주어진다고 가정하고 있으며 이와 같은 환경모델은 자율주행운반체에서 많이 사용되는 초음파센서를 이용하여 운반체 스스로 구하기 어렵다. 격자탐색방법은 환경변화에는 적용할 수 있으나 두 지점사이의 경로만을 구할 수 있으며 다른 지점사이의 경로를 구하기 위하여 전체 환경모델을 다시 설계해야 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 운반체 경로계획을 위하여 격자탐색방법과 네트워크방법을 결합한 방법을 제안한다. 즉 초음파센서를 사용하여 격자형 환경정보를 구한 후 그 격자형 환경정보로부터 경로계획에 이용할 네트워크를 구한다. 네트워크를 이용한 경로계획은 참고문헌⁽⁶⁾을 참조한다.

초음파센서를 사용하여 물체의 위치를 정확하게 결정하기 위한 방법들이 제시되어 왔다. Elfes와 Moravec은 초음파센서의 특성중 방향 부정확성을 확률함수로 표현하여 결정하는 방법을 제안하였으며⁽⁷⁾ Crowley는 초음파센서의 거리오차를 보상하기 위하여 초음파 빔의 호를 모델하여 거리를 계산하는 방법을 제안하였다⁽⁸⁾. 그러나 이와 같은 방법은 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. Koren과 Borenstein은 초음파센서가 거리정보를 제공할 때마다 초음파 빔의 중심 축에 놓여 있는 격자의 확실성값을 1씩 증가시켜 확실성값이 많이 누적된 격자를 장애물이 있는 격자로 사용하는 방법을 제안하였다⁽⁹⁾. 이 방법은 실시간으로 장애물의 위치를 계산할 수 있는 장점이 있으나 장애물의 경계에서 오차가 많이 발생하는 단점이 있다. 또한 초음파센서는 센서의 특성상 부정확한 정보를 제공하므로 환경정보를 정확하게 결정하기 위하여 다중 센서시스템을 설계하며, 계산시간이 적게 소요되며 정확한 환경정보를 구할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 격자형 환경정보 구성

격자형 환경정보는 운반체의 작업공간을 이차원 평면으로 가정하고 전체공간을 일정한 크기의 격자집합으로 표현한다. 따라서 한 격자의 위치는 2차원 직각좌표계에서 표현되며 전체 환경모델은 각 격자의 집합인 이차원 행렬로 표현된다. 각 격자는 장애물 유무의 가능성 정도를 나타내는 확실성값(certainty value)을 갖고 있다. 확실성값이 0인 경우 그 격자의 위치에는 장애물이 없는 것을 의미하며 0이 아닌 경우, 확실성값이 클수록 그 격자가 위치한 곳에 장애물이 있을 가능성이 높아진다. 따라서 격자의 확실성값을 정확하게 계산할 수록 정확한 환경정보를 구할 수 있다⁵⁾. 본 논문에서는 초음파센서의 정보를 이용하여 확실성값을 결정하는 방법을 제시한다.

2.1 초음파센서 특성

초음파센서는 초음파 빔을 초음파 트랜스듀서에서 발사하여 대상 물체에 조사하고, 반사된 초음파 에코(echo)를 수신한 후 그 시간 간격을

측정하여 대상물까지의 거리를 계산한다. 그러나 초음파센서는 다음과 같은 특성에 의하여 정확한 정보를 제공하지 못하는 경우가 있다.

- 방향 부정확성(poor directionality): 초음파 빔은 약 30° 콘형태 범위(conical field)를 가지로 콘 범위 내에 있는 장애물에 대한 거리정보를 제공하며 정확한 위치는 제공하지 못한다.
- 외란 민감성(frequent misreadings): 초음파센서는 전자기적인 원인에 의한 전기적인 잡음, 가까운 거리에 위치한 옆 센서들의 간섭에 영향을 받을 수 있다.
- 반사각 민감성(specular reflections): 초음파 빔과 장애물의 표면이 이루는 각도가 25° 이상 큰 경우에는 되 반사되는 초음파 량이 적어 물체를 감지하지 못하게 된다.

그림 1은 초음파센서의 방향 부정확성에 의해 발생하는 현상을 보여 준다. 그림 1에서와 같이 콘형태의 초음파빔 특성에 의하여 물체가 초음파 빔의 경계에 있는 경우에도 초음파 빔의 중앙에 있는 것으로 잘못 인지하여 물체를 확대하여 결정할 수 있다.

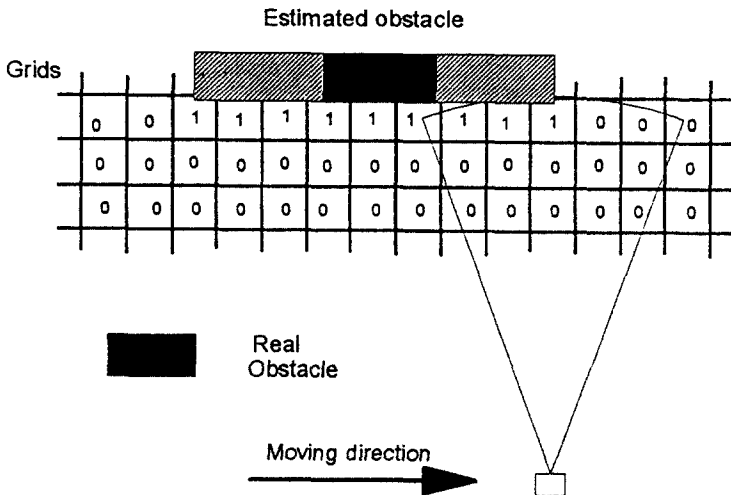


그림1. 초음파 빔의 특성을 고려하지 않은 경우

2.2 격자형 환경정보 결정방법

본 논문에서는 초음파센서의 부정확한 특성을 보완하기 위하여 다중 센서시스템을 설계하며 계산시간이 적게 소요되며 정확한 환경정보를 구할 수 있는 방법을 제안한다. 먼저 본절에서 방향

● 한 초음파센서가 감지하고 이웃한 센서가 감지하지 못한 경우

한 초음파센서가 감지하고 이웃한 센서가 감지하지 못한 경우, 장애물이 물체를 감지한 초음파센서 초음파 빔의 중심선상에 위치할 확률보다

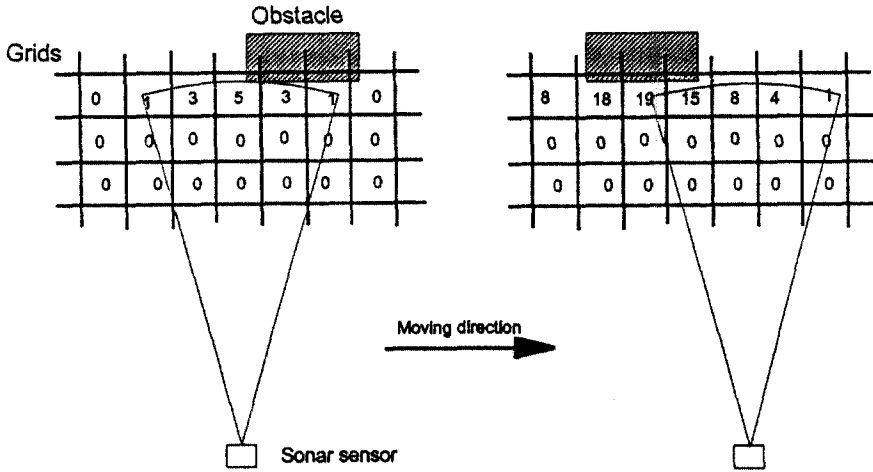


그림2. 초음파 빔의 특성을 이용한 격자 확실성 값 결정방법

부정확성과 외란 민감성을 보완하기 위한 방법을 설명하며, 2.3절에서 설계한 초음파 센서배치에 의하여 반사각 민감성이 개선될 수 있음을 보인다.

● 한 초음파센서가 감지한 경우

초음파센서가 장애물을 감지한 경우 그 장애물의 위치는 정확하지 않지만 중앙에 있을 확률이 가장 높다. 따라서 그림 2에서와 같이 가장 큰 값을 중심선상에 놓여 있는 격자중 측정된 거리에 위치한 격자에 인가하고 중심선에서 멀리 떨어져 있는 격자에는 적은 값을 인가한다. 이 계산을 초음파센서가 측정할 때마다 수행하여 기존 값에 더하며 이와 같은 과정을 반복하면, 여러 번 감지된 물체가 있는 격자의 확실성값은 계속 증가하게 되어 장애물의 유무를 결정하는 한 계치 이상의 값을 갖게 된다.

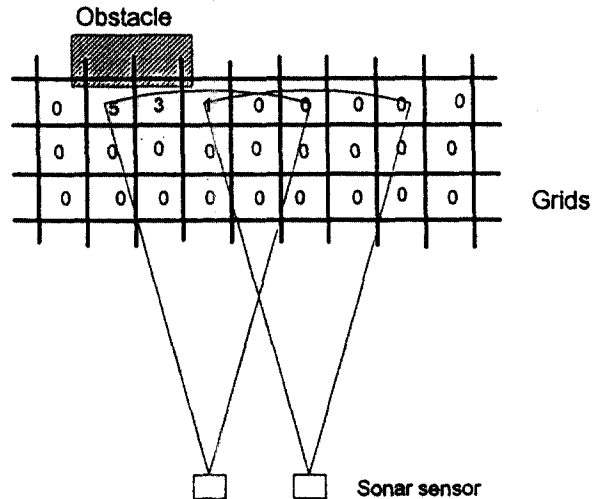


그림3. 한 초음파센서가 감지하고 이웃한 센서가 감지하지 못한 경우

감지하지 못한 센서의 반대 방향에 놓일 확률이 크다. 따라서 이 경우 이웃한 센서의 반대 방향에 있는 격자에 가장 큰 값을 인가한다. 그림 3은 한번 감지된 경우의 예이며 이와 같은 과정이 반복 수행되면 보다 정확한 장애물의 위치를 구하게 된다.

이와 같이 초음파 빔을 서로 겹치게 한 후 이웃한 센서의 정보를 이용하면 보다 정확한 환경정보를 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 장애물이 적게 배치된 환경에서는 좋은 성능을 보여주지만 장애물과 장애물사이의 간격이 좁은 경우에는 장애물을 잘못 인지하는 경우가 발생할 수 있다. 그림 4는 좁은 문을 잘못 인지하는 경우의 예를 보여 준다. 초음파센서와 출입문간의 거리가 1m이고 문의 폭이 85cm이하인 경우에는 그림과 같이 문의 중앙에 장애물이 위치한 것으로 잘못 판단할 수 있다. 이와 같은 현상을 보완하기 위하여 초음파센서의 유효거리를 제한하는 방법을 사용한다. 즉, 초음파센서의 유효거리를 작게 할수록 잘못 판단하는 공간의 폭이 좁아지는 성질을 이용하여 환경을 잘못 인지하는 것에 의한 오류가 경로계획에 미치는 영향을 최소화한다. 즉, 사용하는 운반체 폭에 비하여 좁은 공간은

운반체가 통과할 수 없으므로 막힌 것으로 인지하여도 경로계획에는 영향을 미치지 않는다. 예를 들어 실험에 사용된 운반체의 폭이 78cm이면 초음파센서의 유효거리를 90cm로 결정하여 환경정보를 구한다. 또한, 외란때문에 잘못된 정보를 제거하기 위하여 장애물의 유무를 결정할 때에는 여러 번 감지되어 일정한 한계치 이상의 확실성값을 갖는 격자에만 장애물이 있는 것으로 간주한다.

2.3 초음파센서 배치

정확한 환경정보를 구하기 위하여 센서의 배치가 중요한 영향을 미친다. 즉 센서 빔의 콘이 서로 중첩되도록 센서를 배치해야 이웃센서의 정보를 정확하게 이용할 수 있다. 본 연구에서는 24개의 초음파센서를 원형형태로 배치하였으며 각 센서는 서로 같은 거리만큼 떨어져 있다. 따라서 각 센서는 원을 중심으로 15° 만큼 떨어져 있으며 물체가 초음파센서로부터 1m 거리에 있는 경우 한 초음파센서의 콘영역은 이웃한 두 센서에 의하여 서로 중첩되게 된다.

이와 같이 배치하면 초음파센서의 반사각 민

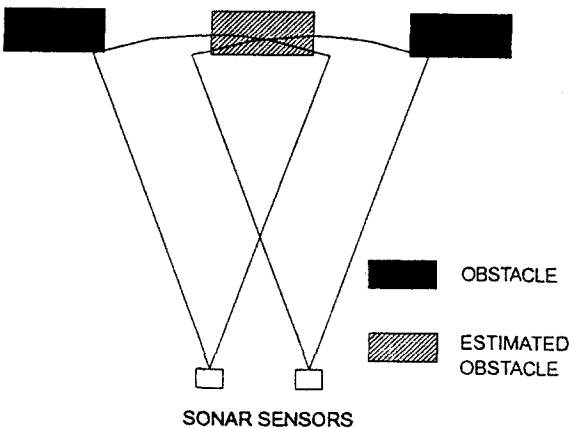


그림 4. 좁은 문을 잘못 인지하는 경우의 예.

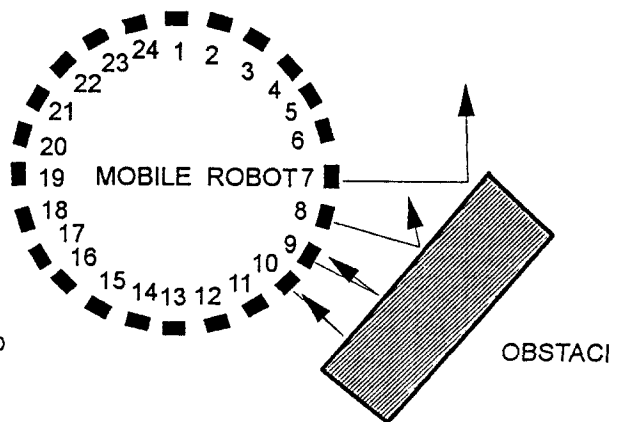


그림 5. 센서배치에 의한 초음파 반사각오차 보상

감성을 개선할 수 있다. 그림 5에서 초음파센서 8, 9는 벽면과의 각도가 25° 이상이 되므로 반사되는 초음파 빔이 적어 물체를 감지하지 못하지만 초음파센서 10, 11에 의하여 물체가 감지될 수 있음을 보인다.

3. 경로계획을 위한 네트워크 구성

노드는 운반체 작업공간내의 한 점으로 정의되며 노드의 위치는 다음의 두 가지 방법을 함께 사용하여 결정한다. 첫 번째 방법은 운반체를 작업공간에서 주행시키면서 일정한 거리마다 노드를 위치하게 한다. 이렇게 하면 운반체가 갈 수 없는 위치는 제외되어 불필요한 노드에 대한 계산수행을 피하게 된다. 두 번째 방법은 장애물과 장애물사이가 좁은 경우 간격이 최소가 되는지점의 중앙에 새로운 노드를 결정하여 운반체가 폭이 좁은 장애물사이의 중간 부분을 안전하게 통과하도록 한다.

이와 같이 노드를 결정하는 경우 운반체는 작업공간내의 모든 노드를 갈 수 있다. 그러나 네트워크 경로계획에서는 경로가 노드간의 직선운동으로 정의되므로 노드와 노드사이에 장애물이 있는 경우 운반체는 직접 갈 수 없고 다른 노드를 거쳐서만 갈 수 있다. 따라서 네트워크를 구성하기 위하여 두 노드사이를 직선주행으로 갈 수 없는 예지를 결정하여야 하며, 격자형 환경정보로 작업공간을 표현하는 경우 두 노드사이의 장애물 유무는 그 노드를 연결하는 직선상의 격자 값을 확인하여 알 수 있다. 즉 그 직선 상에 있는 격자중에 임의의 한계 값을 넘는 확실성값을 갖는 격자가 있는 경우 장애물이 있는 것으로 계산한다.

4. 실험결과

본 논문에서 제시한 경로계획기법을 자동화 공장에서 물류운반을 위하여 개발중인 자율주행 운반체를 사용하여 실험하였다. 운반체는 센서보드에 설치된 초음파센서를 사용하여 물체와의 거

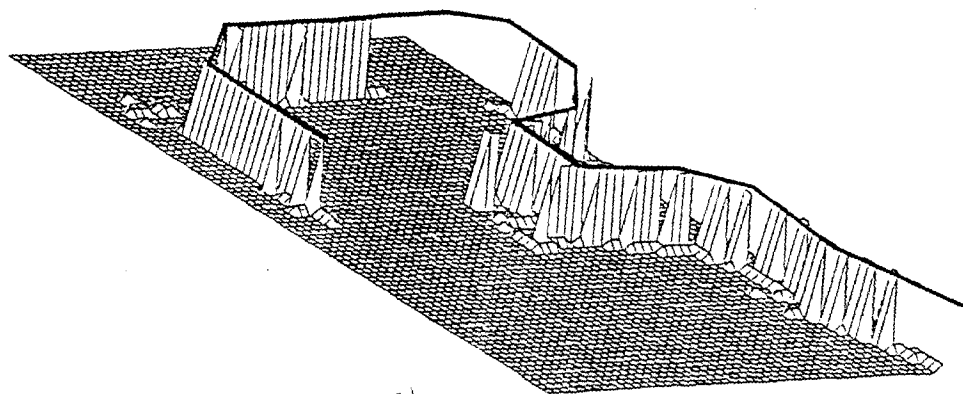
리를 감지하고 RS-232C를 통해 제어 컴퓨터에 정보를 전송한다. 센서제어 보드는 총 24개의 초음파센서와 24개의 적외선센서를 제어할 수 있다.

● 확실성값 계산법에 따른 성능비교

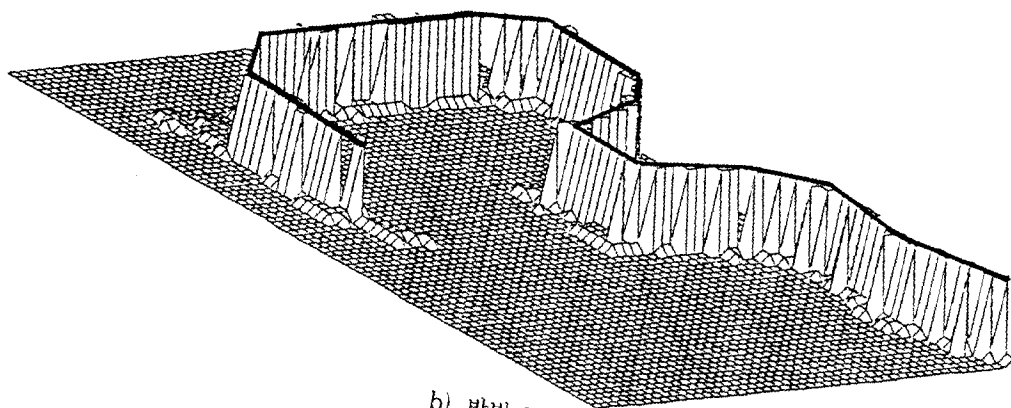
제안한 격자형 환경정보기법의 성능을 분석하기 위하여 같은 환경에 대하여 격자의 확실성값을 2가지 다른 방법으로 결정한 결과를 그림 6에 비교하였다. 여기서 전체환경의 크기는 $7m \times 5m$, 한 격자의 크기는 $10cm \times 10cm$ 이며 환경인지를 위한 평균 주행속도는 $150mm/sec$ 이다.

그림 6(a)는 한 초음파센서가 물체를 감지했을 때 초음파 빔의 중심축 상에 있는 격자 값만 계산하고 초음파 빔의 방향부정확성을 고려하지 않은 방법으로 이웃한 센서의 정보도 고려하지 않은 모델이다(방법 A). 그림 6(b)는 초음파 빔의 콘형태 특성과 이웃한 센서의 정보를 이용하는 방법으로 본 논문에서 제시한 방법이다(방법 B). 굵은 선은 실제 환경형태를 나타낸다. 실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 방법 A는 장애물을 약 $30cm$ 정도 확대해서 결정하게 된다. 이러한 오차는 실외 주행용 운반체에 대해서는 중요한 영향을 미치지 않을 수 있으나, 좁은 통로나 문 같은 곳을 통과해야 하는 실내 주행용 운반체에서는 중요한 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서 제시한 방법 B를 사용하면 하나의 초음파센서는 장애물의 정확한 위치를 제공하지 못하며 거리정보만 제공하지만 초음파 빔의 특성과 다중센서의 정보를 이용하여 환경에 대한 정보를 보다 정확하게 구할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 자동화공장 일부의 환경정보이다. 환경정보의 전체크기는 $16m \times 6m$ 이며 한 격자의 크기는 $20cm \times 20cm$ 이다. 그림 8은 자동화공장에 대한 경로 계획을 수행하기 위하여 격자형 환경정보로부터 구한 네트워크의 예를 보인다.



a) 방법 A



b) 방법 B

그림6. 계산방법에 따른 환경정보 비교

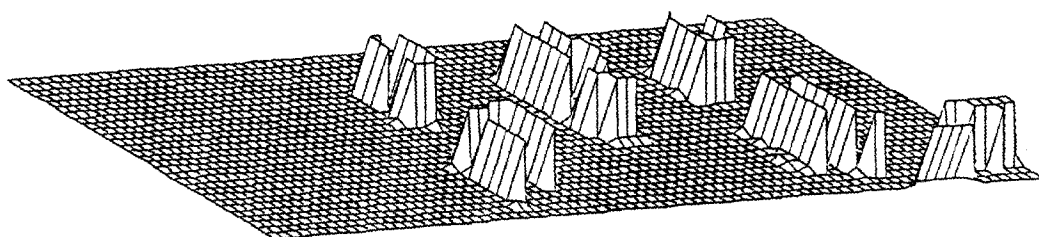


그림7. 자동화 공장의 환경정보

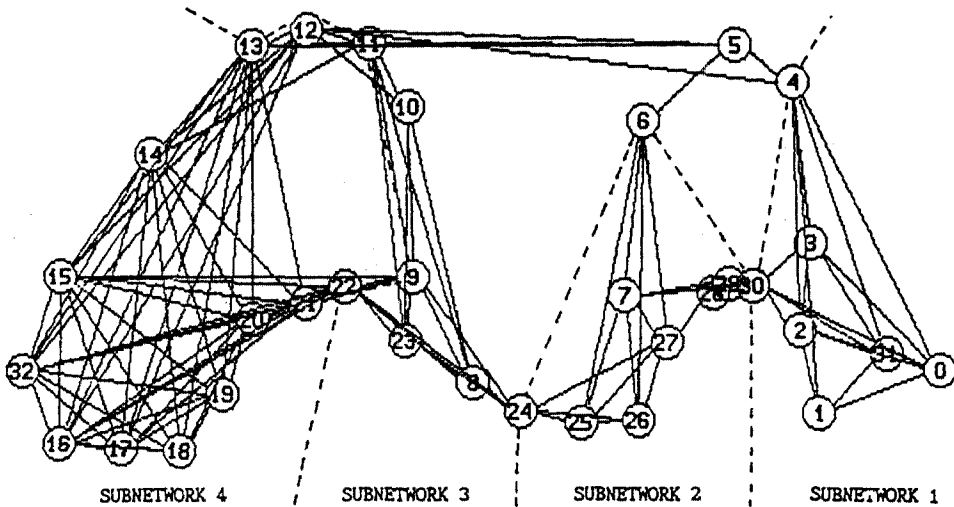


그림8 자동화 공장의 네트워크

5. 결 론

본 논문에서는 자율주행운반체가 초음파센서를 사용하여 구한 격자형 환경정보를 이용하여 경로계획을 수행할 때 요구되는 노드와 에지로 구성된 네트워크를 구하는 방법을 제시하였다. 초음파센서의 방향 부정확성과 외란 민감성을 보완하기 위하여 다중 센서시스템을 설계하며, 계산시간이 적게 소요되며 정확한 환경정보를 구할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 사용하여, 하나의 초음파센서는 장애물의 정확한 위치를 제공하지 못하며 거리정보만 제공하지만 초음파 빔의 특성과 다중센서의 정보를 효과적으로 이용하면 환경에 대한 정확한 모델을 구할 수 있음을 보였다. 또한 그 환경정보로부터 운반체 스스로 경로계획에 필요한 네트워크를 구성하는 방법을 제시하였다.

참고문헌

[1] T. L. Perez, "Spatial planning: A configuration space approach," *IEEE*

Trans. on Computers, vol. C-32, no. 2, pp. 108-120, 1983.

[2] E. G. Gilbert and C. P. Foo, "Computing the distance function between general convex objects in three-dimensional space," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. RA-6, no. 1, pp. 53-61, 1990.

[3] A. Zelinsky, "A mobile robot exploration algorithm," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 8, no. 6, pp. 707-717, 1992.

[4] J. G. Lee, W. G. Vogt and M. H. Mickle, "Calculation of the shortest paths by optimal decomposition," *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-12, no. 3, pp 410-415, 1982.

[5] 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.

[6] H. Chung, J. G. Lee and Y. S. Kim,

- "Planning optimal paths in a partially unknown environment," *2nd IFAC Conference on Intelligent Autonomous Vehicles 95*, pp. 62-67, 1995
- [7] 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 Robots and Systems*, pp. 439-444, 1992.
- [8] H. P. Moravec and A. Elfes, "High resolution maps from wide angle sonar," *Proc. 1985 IEEE Conf. of Robotics and Automation*, pp. 116-121, 1985.
- [9] J. L. Crowley, "World modelling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging", *Proc. 1989 IEEE Conf. of Robotics and Automation*, pp. 674-680, 1989.
- [10] J. Borenstein and Y. Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots," *Trans. on System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-19, no. 5, pp. 1179-1187, 1989.