# 그리드지도의 방향정보 이용한 형상지도형성

송도성*(제주대 대학원 기계공학과), 강승균(관광대 메카트로닉스계열), 임종환(제주대 생산공학과)

# Feature Map Construction using Orientation Informations in a Grid Map

D. S. Song(Dept. of Mechanical Engineering, CNU), S. K. Kang(Majors of Mechatronics, CTC), J. H. Lim(Dept. of Production Engineering, CNU)

**ABSTRACT**

The paper presents an efficient method of extracting line segment in a grid map. The grid map is composed of 2-D grids that have both the occupancy and orientation probabilities based on the simplified Bayesian updating model. The probabilities and orientations of cells in the grid map are continuously updated while the robot explorers its unknown environment, and the orientations of all cells are clustered into several groups according to their values. The line segments are , then, extracted from the clusters using Hough transform methods. The end points of a line segment are evaluated from the cells in each cluster, which is simple and efficient comparing to existing methods. The proposed methods are illustrated by sets of experiments in an indoor environment.

**Key Words** : Mobile Robot(이동로봇), Grid(그리드), Orientation Probability(방향확률), Cluster, Line Segment(직선선분), Hough transform(허프 변환), End points(끝점)

## 1. 서론

그리드지도는 로봇 주위의 작업공간을 2차원 셀로 나누고 초음파 센서의 거리 정보를 이용하여 각 셀의 물체에 점령되어있을 확률을 평가하여 표현하는 확률 지도를 의미한다. 작성된 확률지도는 로봇의 이동공간을 확보하기 위한 정보로 쓰임과 동시에 이동시 발생하는 위치오차를 보정하기 위한 natural landmark 역할도 동시에 하게 된다. 그러나 그리드 지도는 그 특성상 각 셀의 정보를 그대로 유지해야 하기 때문에 많은 메모리의 사용이 요구되며 위치 평가시에 형상기준 지도보다 불리한 점이 있다. 따라서 최근 그리드 지도로부터 직선 선분을 추출하여 지도를 직선과 corner, edge 등으로 표현하는 시도가 이루어지고 있다.

허프변환(Hough Transform) [1-3]은 셀들의 분포 정보로부터 직선을 추출하는데 주로 사용되며, 직선을 원점에 대한 회전과 거리를 나타내는 좌표계로 나타낼 때 그 직선은 허프 영역에서 첨두치로 사상된다. Cassasent[4-9] 등은 허프 영역으로부터 직선을 추출하고 직선의 위치와 끝점에 관한 정보를 얻어내는 알고리즘을 제안했다.

Cassasent 등이 제안한 직선 감지에 대한 알고리즘은 계산량은 줄이고 높은 정밀도를 갖는 장점을 가지고 있으며, Richard와 Cassasent에 의한 알고리즘은 큰 크기의 윈도우를 가지고 각각의 허프변환 첨두치 주위 정현의 평균 기울기를 계산하는 것이다. 이 방법은 허프변환 첨두치가 크게 분리된 위치를 가지고 있는 직선에 대해서만 사용될 수 있다. 여러 개의 선이 있는 입력 영상에 대해 각 허프변환 첨두치 주위에 포락선의 분포를 측정하는 것은 첨두치 정현의 겹침 때문에 신뢰성이 감소될 수 있다.

또한 M. Atiquzzman 과 M. W. Akhtar[9]은 누산기에 있는 첨두치 주위 votes 분포의 분석에 의한 방법을 제안했다. 허프영역에서 첨두치 근처 두 개의 열은 첨두치 날개의 포락선으로 4개의 교점을 가지고 있으며 입력 영상에서 선의 끝점은 교점의 좌표로부터 계산될 수 있다. 그러나, 영상의 이산화는 첨두치의 분리를 만들뿐만 아니라 날개의 포락선에서 점의 위치에 영향을 준다. 따라서 선의 끝점을 얻는데 4개의 포락선 점의 좌표를 사용하는데 있어서 정확도는 선의 위치와 길이 그리고 2개열의 선택에 따라 변한다. 또한 여러 개의 선을 포함하는 입력 영상에 대해서는 첨두치가 서로 가까이 있을 수

있다. votes의 겹침 때문에 허프 영역에서 날개의 포락선을 고려하지 않고 점으로부터 영이 아닌 값을 얻는데 거의 불가능하다. 특히, 2개의 열이 첨두치와 머리 떨어져 있을 때 어떤 화소가 포락선의 끝점인지 결정하는 것이 어렵다.

허프 변환은 허프 데이터로부터 긴 선에 대한 정보를 얻어내는 것은 어렵지 않지만 반대로 허프 영역으로부터 짧은 선을 찾아내는 것은 짧을 선에 일치하는 첨두치가 작은 값을 갖기 때문에 매우 어렵다. 실제 적용측면에서 보면 여러 개의 짧은 직선과 긴 직선을 포함하고 있는 패턴의 감지는 거의 같은 길이의 선을 포함하고 있는 패턴보다 더 중요하다.

본 연구에서는 이러한 직선을 찾는 허프변환의 단점을 보완하기 위하여 방향확률을 이용하여 여러 개의 직선으로 구성이 되어 있는 환경에서 각 직선의 식을 구하고 그리드 지도내의 각 셀들의 클러스터 정보로부터 직선의 끝점을 찾는 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 그리드 지도 및 방향확률

그리드형태의 지도는 대상 공간을 2차원으로 근사하고 전체를 여러 개의 셀들로 나눈 다음 각 물체들이 존재하는 위치의 셀에 일정한 값을 주어 표현한 것이다. 각 셀들은 물체에 의헤 점령되어 있을 확률이 할당되는데, 이 확률을 센서로부터 물체 위치에 대한 상대 거리정보를 이용하여 평가하게 된다. 센서로는 주로 값이 싸고 취급이 용이한 초음파 센서가 이용되나 최근에는 적외선 센서 및 레이저 센서 등도 많이 이용되고 있다. 정보를 안정적으로 제공해주는 장점이 있다.

초음파센서는 송신된 음파가 반사되어 수신기로 되돌아오는 시간으로부터 물체의 거리를 추정한다. 그러나 초음파센서는 전방의 가장 근접한 물체를 감지하지 못하는 경우가 발생하는데, 물체의 표면에 입사된 음파가 센서 중심축에 대해서 수직하지 않은 물체표면에서 반사된 후 수신기와는 다른 쪽으로 진행하는 경우로서 다중반사 경로현상이라 한다.

따라서 초음파 센서의 거리정보는 신뢰성이 극히 낮으며 이를 직접적으로 이용할 경우 효과적인 지도 작성이 어렵다. 이 단점을 해결하기 위해 개발된 방법이 MBM모델이다[10-12]. 이 MBM모델은 Moravec[13]이 제안한 원래의 모델보다 훨씬 효과적이지만 여전히 많은 메모리와 계산시간을 요구한다. 따라서 실시간 지도작성을 위해 MBM 모델을 단순화 시킨 SMBM [10]모델을 이용하여 지도를 작성한다.

초음파 센서의 거울반사 효과는 정보의 신뢰성이나 지도 작성 측면에서는 단점이 되지만 각 셀의 방향을 평가하는 측면에서는 아주 효과적인 특성이라 할 수 있다. 즉, 빛과 같이 거울반사가 일어나지 않는 센서의 경우는 어떤 셀에 물체가 있다고 할 경우 빛은 사방으로 반사가 일어나기 때문에 그 셀이 속하는 물체의 표면방향을 평가하기는 어렵다. 그러나 초음파 센서는 입사각과 반사각이 같다는 정반사의 법칙을 따르므로 물체의 표면에 거의 수직방향이 아니면 감지되지 않으므로 이 특성을 이용하여 쉽게 각 셀의 방향정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 이와 같이 각 센서의 거리정보로부터 점령확률을 평가 할 뿐만 아니라 동시에 방향정보도 추출한다. 방향정보의 추출은 역시 SMBM 모델을 이용하며 지도 작성 후 각 방향확률에 따라 셀들을 clustering 한다. 각 cluster는 동일한 방향을 갖고 있는 셀들의 집합이므로 동일한 직선선분을 나타낸다고 볼 수 있다. 따라서 각 cluster를 이용하여 직선선분 및 직선의 끝점 정보를 얻어낼 수 있다.

## 3. 허프 변환을 이용한 직선선분 추출

허프 변환은 영상으로부터 직선이나 곡선 등을 추출하기 위한 방법으로 널리 사용되어 왔다. 허프 변환의 기본 개념은 직선식의 경우 (x,y)를 직각 좌표계의 점이라 할 때,

$$y = ax + b \tag{1}$$

로 표현되는 양함수식 (explicit equation)을 다음과 같이 ρ, θ식으로 변환하는 것이다.

$$\rho = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \tag{2}$$

식 (1)의 경우에는 직선이 수직이거나 수직에 가까운 경우 매개변수 a와 b의 값이 (-∞, ∞)의 무한한 범위를 갖게 되어 수리적으로 처리하기 어려울 때가 많다. 반면에, 허프 변환된 식 (2)의 경우에는 그리드로 구성된 N×N셀을 가지는

지도에서, 원점부터 직선까지의 거리와 원점을 지나는 수선의 각은 유한한 크기를 갖는다. 이때 X-Y평면에서 동일선상의 직선이, 일부 단절선을 포함하여 여러 개 존재할 수 있으며, 실제 그리드 지도내의 직선은 점들의 집합으로 이루어져 있기 때문에, 이의 기록을 위한 누산기(Accumulator)가 필요하다.

허프 변환을 이용한 적선선분의 추출은 하나의 지도 내에서 여러 개의 직선선분으로 구성된 환경에서는 직선의 선분을 각각 추출하기가 힘들다. 추출이 가능하다하더라도 알고리즘이 복잡하여 메모리 및 계산시간이 길어져 실시간으로 이동로봇에는 적용하기가 어렵다.

이를 해결하기 위해 각 그리드의 방향확률을 이용하여 직선의 선분을 추출하는 방법을 제안한다. 형성된 지도에서 동일한 방향확률 값을 갖는 셀들을 그룹화 하여 클러스터를 형성한다. 각 클러스터들은 전술한 바와 같이 동일 직선을 나타내는 것으로 볼 수 있기 때문에 각 클러스터를 대상으로 독립적으로 허프 변환을 수행한다. 그러나 각 클러스터는 동일 방향정보만을 가지고 있으며 거리정보는 없기 때문에 경우에 따라서는 서로 다른 직선이 동일 클러스터를 형성하는 일이 발생한다.

이 경우 허프 변환을 수행하면 각기 다른 직선선분의 개수만큼 직선이 추출되는데, 각 클러스터 내의 각 셀들을 추출된 직선과의 최단거리를 평가하여 어떤 직선에 해당하는 셀인지를 알아 낼 수 있다. 이와 같은 방법으로 하나의 클러스터로부터 추출된 각 직선에 대해 해당 셀들을 다시 분류하여 새로운 클러스터를 형성함으로서 각 클러스터에 대해 독립적으로 단일 직선을 대응시킬 수가 있다. 또한 각 직선의 끝점은 해당 클러스터의 셀들의 분포로부터 쉽게 찾을 수가 있다.

## 4. 실험 및 고찰

제안된 방향정보를 이용한 그리드 지도의 직선선분 추출 방법의 유용성을 검증하기 위해 실제 로봇을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험에 이용된 로봇은 Nomad Scout로봇으로서 Fig.1과 같이 22.5도 간격으로 16개의 Polaroid 초음파센서가 장착되어있고 각 센서는 0.15m에서 10m까지의 물체를 감지할 수 있다. 로봇은 각 샘플시간당 16개의 초음파 거리정보와 바퀴에 부착된 엔코더를 이용하여 dead reckoning 위치정보를 제공한다.

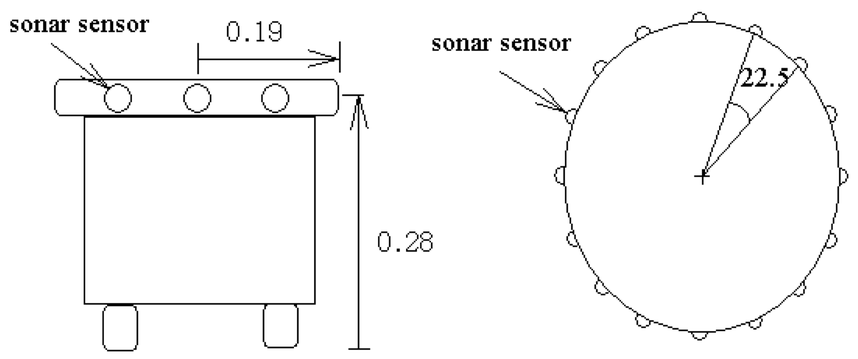
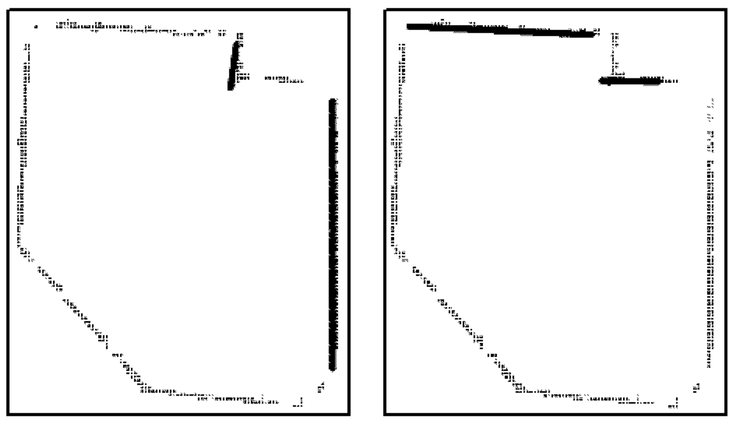



Fig. 1 Configuration of the robot.

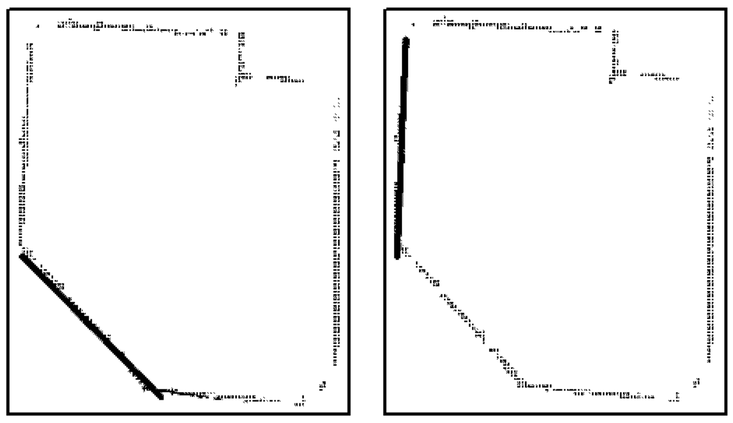
실험환경은 가로 세로가 6m x 7m 인 실내이며 총 260지점에서 초음파 거리정보를 수집하였으며 위치평가는 수행하지 않았다. 그리드 지도 작성 후에 각 그리드가 갖고 있는 방향확률 값을 이용하여 클러스터를 형성하고 각각의 클러스터에 대하여 허프 변환을 통한 직선의 선분을 추출하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다. 그림. 5(a)는 2개의 직선을 나타내는 셀들이 동일 클러스터로 분류 되었지만 이를 각 그리드와 직선과의 거리정보로부터 두개의 클러스터로 분리하고 분리된 각 클러스터로부터 각 직선의 끝점을 구하여 나타낸 것이다. 하면 두 개의 직선을 각각 찾을 수 있다. 전체지도의 직선선분을 찾은 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 그림을 살펴보면 모서리 부분이 잘 나타나 있지 않는데 이것은 초음파센서의 또 다른 단점으로서 모서리 부분에서는 다중반사현상이 특히 심하기 때문이다. 또한 그림의 하단부직선이 우측 벽을 나타내는 직선과 수직으로 교차함에도 불구하고 그렇지 못한 것은 로봇의 위치오차 및 방향오차에 기인한 것으로 사료된다.

## 5. 결론

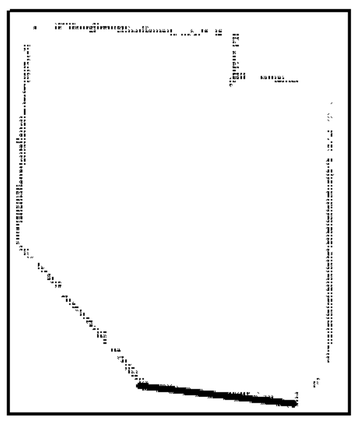
본 연구는 그리드 지도의 방향정보로부터 직선선분을 추출하여 지도를 형성하는 방법을 제안하였다. 각 그리드의 방향 값으로부터 직선선분을 평가하기위해서 허프 변환을 이용하였다. 개발된 방법을 실험으로 검증한 결과 다수의 선분이 공존하는 환경 하에서도 각각의 직선선분을 독립적으로 추출이 가능함을 확인하였다. 다만 지도형성과정에서 발생하는 로봇의 위치오차



(a) Cluster 1, 2



(b) Cluster 3, 4



(c) Cluster 5

Fig. 2 Each cluster and the corresponding line segments

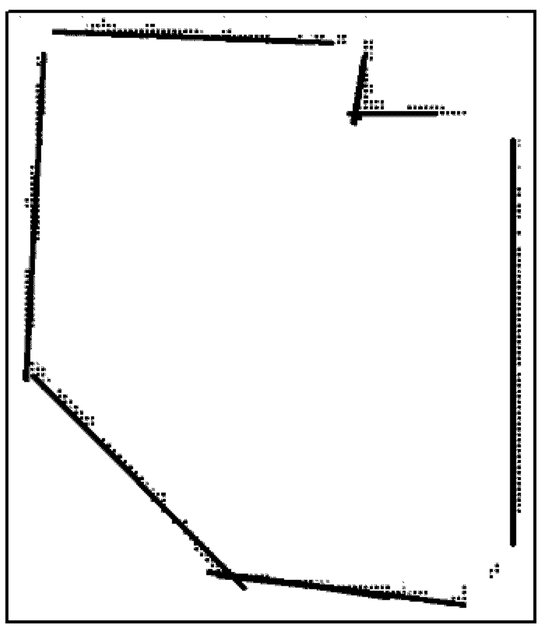


Fig. 3 Reconstructed map from line segments

영향으로 각 선분의 위치오차가 많이 발생하였으며, 이는 지도형성 시에 위치를 동시에 추적하는 방법을 적용함으로서 해결이 가능하다.

## 참고문헌


1. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Pattern," U.S. Patent No. 309654, 1962.
2. J. Illingworth and J. Kittler, "A Survey of the Hough Transform," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 44, 87-116, 1988.
3. V. F. Leasvers, "Shape detection in computer vision using the Hough transform", Springer-Verlag, London, 1992.
4. D. Cassasent and J. Richards, "An Optical Processor for Product Inspection", Pro. Soc. Photo- Opt
5. V. F. Leavers and J. F. Boyce, " The Radon transform and its application to shape parameterization in machine vision", Image and Vision Comput. 5(2), 161-166, 1987.
6. G. Gindi and A. Gmitro, " Optical feature extraction via the radon transform", Opti. Eng. 23, 499-506, 1984.
7. D. Cassasent and J. Richards, "An industrial application of a real-time inspection system", Appl. Opt. 27, 4540-4545, 1988.
8. M. Atiquzzaman and M. W. Akhtar, "A robust Hough transform technique for complete line segment description", Real-time Imaging, 1, 419-426, 1995.
9. T. M. Van Veen and F. C. A. Groen, " Discretization errors in the Hough transform", Patt. Recog. 14, 137-145,1981
10. 임종환, 초음파센서를 이용한 자율이동로봇의 지도형성 탐사 및 경로계획, 박사학위논문, 포항공과대학교, 1994.
11. J. H. Lim and D. W. Cho, "Specular Reflection Probability in Certainty Grid Representation," ASME Journal, Vol. 116, p.512-520, 1994.
12. S. K. Kang, J. H. Lim, "Sonar Based Position Estimation System for an Autonomous Mobile Robot Operating in an Unknown Environment," KSME International Journal, Vol. 13, No.4, pp.339-349, 1999.
13. H. Moravec, "Sensor fusion in certainty grids for mobile robots", In Sensor Devices and Systems for Robotics, P. 253-276, Springer-Verlag, 1989, Nato ASI Series.