

자율이동로봇을 위한 직선선분 기반 지도 작성

강 승 균* · 임 중 환** · 강 철 응**

Map Construction Based on Line Segments for an Autonomous Mobile Robot

Seung-Kyun Kang* · Jong-Hwan Lim** · Chul-Ung Kang**

ABSTRACT

The paper presents an efficient method of extracting line segment in a local map of robot's surroundings. The local map is composed of 2-D grids that have both the occupancy and orientation probabilities based on the bayesian map building model. The local map is continuously updated while the robot explores its unknown environment and the orientations of all grids in the local map are clustered into several groups according to their values. The line segments are then extracted from the clusters based on least square methods. A merging method that reconstructs lines and corners is developed to build a topological map. The proposed technique is illustrated by experiments in an indoor environment.

Key Words : Mobile robot, grid, orientation probability, least square methods, line segment

1. 서 론

이동로봇의 위치추적은 자율항해에서 가장 중요한 기능이라고 할 수 있다. 또한 이동로봇이 미지환경을 탐사할 때 센서의 정보를 이용하여 지도를 형성하며, 이 지도로부터 로봇의 위치를 판단하기 위해서는 기본적으로 로봇주위 환경에 대한 신뢰성 있는 표현 수단이 필요한데 주로 로봇 주위의 물체에 대한 환경지

도를 이용한다.

초음파센서를 이용한 위치추적 법은 그리드 형태의 지도를 이용하는 방법[1]과 물체의 형상(선, 곡선 등)을 기준으로 하는 방법[2]들이 있다. 전자는 기준지도와 현재의 지도를 비교하여 그 불일치도가 최소가 되는 위치를 찾아내는 방법으로서 Elfes[3]에 의해 처음으로 제안되었다. 그러나 이 방법은 초음파센서의 거울효과(Specular Reflection)등으로 인하여 지도의 질이 떨어지므로 기준지도와 비교할 지도에 많은 정보가 쌓여 지도의 질이 좋아질 때까지 기다려야 하므로 그 동안의 위치추적이 곤란해 실질적으로 연속적인 위치추적이 어렵다. 임등[3-6]은 이 방법을 개선하여 비교적 짧은 간격으로 위치를 추적하는 방법을 제안하였으나 역시 연속적인 위치추적 이라기보다는 위치 재평가(Relocation)에 가까운 것이다.

* 제주관광대학 메카트로닉스계열

Majors of Mechatronics, Cheju Tourism College

** 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소

Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

Leonard[1]는 그리드 형태가 아닌 물체의 형상, 즉 직선, 모서리, 곡선 등의 기하학적인 형상으로 지도를 구성하고 초음파센서의 거리정보로부터 동일거리영역 (Region of Constant Depth : RCD)을 분류하여 이 영역의 대표 거리를 추출한 다음 이것과 확장칼만필터를 이용하여 연속적으로 위치를 추적하는 방법을 제시하였다. 그는 이 방법을 이용하여 이동로봇이 수 시간동안 이동하여도 아주 정확하게 위치를 추적할 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 그러나 이 방법은 기하학적인 기본형상으로 지도를 표현하는 것으로 인해 RCD와 형상 등을 대응시키기 위해 아주 복잡한 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다.

홍 등[7]은 상기의 두 지도 작성 방법을 혼합하여 직선선분 지도 생성 방법을 제안하였다. 이 방법은 이동로봇의 주변 일정영역에 설정된 지역 히스토그램 격자방법을 이용하여 장애물에 대한 정보를 격자지도에 누적시켜 이 정보로부터 직선선분들로 구성된 모델기반지도를 생성하였고, 이러한 방법으로 작업공간에 있는 장애물의 직선선분들을 효율적으로 추출하여 이동로봇의 운행에 필요한 지도를 작성하였다. 그러나 모퉁이 부분에서는 센서의 특성으로 인하여 직선이 제대로 감지되지 않아 모퉁이 부분이 생성되지 않는 단점이 있다.

본 연구에서는 베이지안 확률모델을 이용하여 그리드 형태의 국부지도를 형성한다. 지도내의 각 그리드는 물체의 점령확률뿐만 아니라 물체의 방향(물체 표면의 법선방향) 확률을 동시에 평가한다. 평가된 방향확률을 이용하여 동일한 방향 값을 가진 그리드의 클러스터로 분류하여 각 클러스터에 대해 최소자승법을 적용하여 직선 선분을 추출한다. 이 때 동일 직선이 여러 개의 직선선분으로 분할되는 경우가 많으며 모서리 부분에서는 직선이 연결되지 않아 모서리가 형성되지 못하는 문제점을 해결하기 위해 직선선분 융합방법을 개발하였다. 이와 같은 직선선분 추출 및 융합방법을 실제 초음파 센서를 이용한 지도형성에 적용하여 그 유용성을 검토한다.

II. 방향확률 평가 및 직선선분의 추출

국부지도는 Fig. 1과 같이 로봇의 현재 위치를 중심으로 일정한 원도우내만을 대상으로 한 지도를 의미한다. 국부지도의 크기는 60×60개의 셀로 구성되어 있으며 각 셀의 크기는 0.05×0.05 m²이다. 지도의 중심은 로봇의 중심과 일치한다.

이 국부지도는 로봇이 진행함에 따라 같이 이동하며 각 cell의 확률 값도 같이 이동된다. 로봇은 항상 국부지도의 중앙에 위치하며 국부지도는 기준좌표계에 대해 그 방향이 일정하게 유지되고 로봇이 상대적으로 방향을 바꾼다.

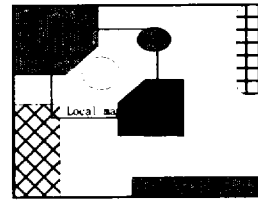


Fig. 1. Configuration of local map

초음파센서는 송신된 음파가 반사되어 수신기로 되돌아오는 시간으로부터 물체의 거리를 추정한다. 그러나 초음파센서는 전방의 가장 근접한 물체를 감지하지 못하는 경우가 발생한다. 음파의 흡수가 심한 물체의 표면에서 반사가 될 때 그 강도가 떨어져 수신기에 감지되지 못하는 경우와 물체의 표면에 입사된 음파가 센서 중심축에 대해서 수직하지 않은 물체 표면에서 반사된 후 수신기와는 다른 쪽으로 진행하는 경우인데 이 경우를 다중반사 경로현상이라 한다. 이런 현상의 주된 요인은 음파의 입사각이다. 그러므로 물체의 표면이 거울반사를 일으키는 것이라면 오직 한 방향으로 발사된 음파만이 물체를 감지하게 된다. 따라서 물체에 대응되는 각 셀의 방향에 대한 정보가 이용가능하다면 더 향상된 지도 작성이 가능할 것이다.

그리드 내 각 셀의 방향확률은 MBM모델에 의해 갱신되어진다[4,5,8]. MBM모델은 Moravec [2]이 제안한 원래의 모델보다 훨씬 효과적이지만 여전히 많은 메모리와 계산시간을 요구한다. 따라서 실시간 처리를 위해 복잡한 방향정보를 단순화는 방법을 설명한다.

Fig. 2에서 보는 것처럼 거리정보 M_t 의 점령영역 내에 임의의 그리드 i 가 속해있다고 가정하면, 이 그리드의 방향은 A_t 로 평가할 수 있다. 이 A_t 의 가중치를 $W_{t,i}$ 라 하자. $W_{t,i}$ 는 다른 그리드와 독립적이며 그리드 i 전달되는 음파의 강도에 의존한다고 가정할 수 있다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

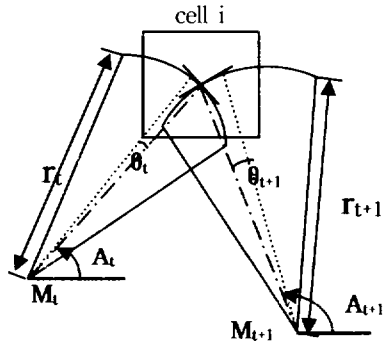


Fig. 2. Schematic diagram of measurements and the orientation of a cell.

$$W_{t,i} = P(r_t)P(\theta_t) \quad (1)$$

여기서 $P(r_t)$ 와 $P(\theta_t)$ 는 센서와 물체사이의 거리와 각도에 따른 음파의 강도 값을 의미한다. 이제 새로운 정보 M_{t+1} 이 들어오고 Fig.2와 같이 그리드 i 가 다시 점령영역 내에 속한다고 가정하자. M_{t+1} 만 고려하면 그리드 i 의 방향은 A_{t+1} 이 되지만 M_t 와 M_{t+1} 을 동시에 고려할 때 그리드 i 의 방향을 갱신하는 것이 목적이다. 두 방향정보를 동시에 고려하여 새로운 방향을 갱신하는 가장 단순하면서도 타당성 있는 방법은 두 개의 각도, A_t 와 A_{t+1} 의 가중치평균이다. 즉,

$$A_{t+1} = \frac{A_t W_{t,i} + A_{t+1} W_{*w,i}}{W_{t,i} + W_{*w,i}} \quad (2)$$

여기서 $W_{*w,i}$ 는 A_{t+1} 의 가중치로서 다음과 같다.

$$W_{*w,i} = P(r_{t+1})P(\theta_{t+1}) \quad (3)$$

하나 남아있는 문제점은 새로운 $W_{t+1,i}$ 의 가중치 값을 어떻게 갱신하는가이다. $W_{t+1,i}$ 는 그 그리드 내에

서 축적된 정보의 양을 의미한다고 볼 수 있으므로 다음 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$W_{t+1,i} = W_{t,i} + W_{*w,i} \quad (4)$$

즉, 셀 i 의 방향에 대한 새로운 가중치 값은 모든 과거가중치정보의 합이다. 식 (2)와 (3)을 사용하여, 점령영역내의 모든 그리드는 각각의 새로운 정보가 들어올 때마다 갱신된다. 비점령영역내의 그리드들의 방향정보는 국부지도 내에서 단지 점령영역의 그리드들만으로 계산되어지기 때문에 갱신할 필요가 없다.

Fig. 3은 실제 실험으로 형성된 국부지도와 그 지도내의 그리드들이 갖고 있는 방향 값에 따라 몇 개의 클러스터를 형성한 결과를 나타낸다. 오른쪽의 그래프는 국부지도내의 같은 방향확률 값을 갖는 셀들의 개수를 보여주며, 그림에서 알 수 있듯이 원래의 환경은 3개의 직선선분으로 구성되어 있으므로 방향 값으로부터 형성된 클러스터도 3개의 집단을 형성하고 있음을 알 수 있다.

형상으로부터 직선 선분을 추출하는 방법은 주로 Hough 변환을 이용하지만 Fig.3과 같은 경우에 Hough 변환을 이용하면 직선 선분이 하나만 추출되면 그 오차 또한 클 수밖에 없다. 또한 지도내의 모든 그리드에 대해 변환을 해야 함으로 추출시간도 길어진다.

본 연구에서는 전술한 바와 같이 평가된 각 그리드의 방향 값을 이용하여 직선선분을 추출한다. 형성된 각 클러스터의 방향 값을 각각 대응되는 선분의 방향을 나타낸다고 볼 수 있으므로 각 클러스터별로 독립적으로 직선 선분을 평가한다. 직선선분 평가는 동일 클러스터에 속하는 그리드의 위치에 대해 최소자승법을 이용하여 최적의 직선을 방정식을 구하는 방법을 이용한다.

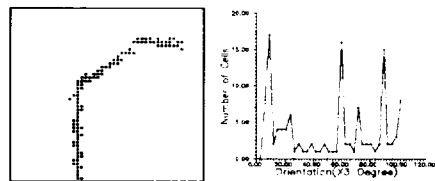


Fig. 3. Example of a local map and distribution of orientations.

III. 지도형성

직선선분 평가 알고리즘을 실제로 적용해보면 실제 동일 직선선분이 여러 개의 선분으로 나뉘어 형성되는 경우가 많으며 모퉁이 부분은 제대로 감지되지 못하는 경우가 발생한다. 동일 평면이 여러 개의 선분으로 나타나는 것은 로봇의 위치오차 및 각도 오차 그리고 센서의 거리오차와 각도오차에 의해 동일 평면이지만 감지된 거리와 각도가 달라져 다른 선분으로 표현되기 때문이다.

또한 모퉁이 부분은 초음파 센서의 특성상 음파가 복잡하게 반사가 이루어지는 다중반사경로현상에 의해 실제보다 먼 거리가 되므로 감지가 잘 되지 못한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 다음과 같은 방법으로 형성된 지도의 물체를 재구성한다.

Fig. 4와 같이 로봇이 평가한 두 선분의 방향벡터를 각각 \hat{n}_1, \hat{n}_2 라 하고 \hat{n}_1 과 평행한 방향을 x축으로 하는 좌표계에 대해 각 선분의 양단 좌표가 다음과 같다고 할 때 다음 조건을 모두 만족하면 이 두 선분을 하나의 직선으로 간주하여 통합한다.

- i. $(x_{12} \sim x_{21}) \leq \delta_w$
- ii. $(\hat{n}_1 \sim \hat{n}_2) \leq \delta_\theta$
- iii. $y_{21} - y_{12} \leq \delta_d$

여기서 δ_w 는 두 선분사이의 x방향 최대거리, δ_θ 는 로봇의 각도오차와 센서의 각도오차를 고려한 상수이며, δ_d 는 로봇이 통과할 수 있는 두 물체 사이의 최소거리이다.

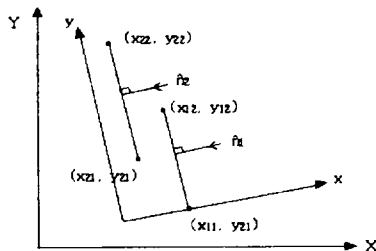


Fig. 4. Merging two line segments

δ_d 가 이와 같이 정의된 이유는 로봇의 주행에서 실제로 두 선분 사이에 물체가 존재하지 않더라도 로봇 입장에서는 그 사이를 통과 할 수 없으므로 물체가 존재하는 것과 같은 효과가 되기 때문이다. 만약 항해가 목적이 아니라 물체의 윤곽 재구성이 목적일 때는 두 선분을 통합시킬 필요가 없으며 다만 $(y_{21} - y_{12})$ 의 값이 음일 때는 두 선분이 겹치므로 통합시킨다.

이와 같이 분리된 선분을 하나로 통합한 후 이것으로부터 모퉁이를 재구성 할 수 있다. 물체의 꼭짓점은 모서리 (edge)와 모퉁이 (corner)로 구분된다. 모퉁이는 꼭짓점이 주위 물체에 비해 돌출된 형상이므로 잘 감지가 되기 때문에 특별히 재구성 할 필요가 없다. 그러나 모퉁이의 경우는 전술한 바와 같이 거의 감지되지 못하므로 선분들을 연장해서 재구성해야한다.

모서리와 모퉁이를 구분하는 방법은 다음과 같다. Fig. 5와 같이 두 개의 선분 l_1 과 l_2 의 방향을 \hat{n}_1, \hat{n}_2 라 할 때 A, B 그리고 C가 이루는 삼각형내의 임의의 점 F를 잡아 이 점에서 각 선분에서 이 점을 향하는 방향이 각각 \hat{n}_1 과 \hat{n}_2 가 일치하면 점 C는 모퉁이가 되고 그렇지 않으면 모서리가 된다. 이 모서리와 모퉁이 판단은 로봇이 주행할 수 있는 영역과 그렇지 못하는 영역 (물체의 내부 또는 방 안에서 벽면의 뒤쪽)을 구별할 때 중요하게 작용한다.

모퉁이로 판단된 경우 된 Fig. 5와 같이 l_1 과 l_2 를 C 점에서 교차하게 연장하여 모퉁이를 재구성 한다. 이때 C점이 l_1 이나 l_2 상에 존재하거나 두 선분의 C에 가까운 쪽 즉, D와 E 사이의 거리가 δ_d 이상이면 모퉁이로 간주하기가 어려우므로 모퉁이 재구성에서 제외시킨다.

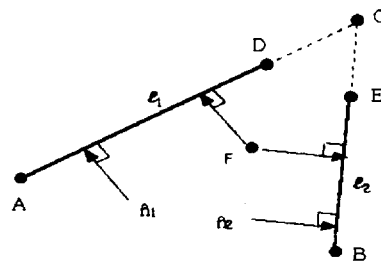


Fig. 5. Reconstruction of a corner

IV. 실험 및 고찰

그리드 형태 지도를 이용한 직선선분의 추출을 통한 지도 작성의 유용성을 검증하기 위해 실제 로봇을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험에 이용된 로봇은 Nomad Scout로봇으로서 22.5도 간격으로 16개의 Polaroid 초음파센서가 장착되어있고 각 센서는 0.15m에서 10m까지의 물체를 감지할 수 있다. 로봇은 각 샘플시간당 16개의 초음파 거리정보와 바퀴에 부착된 엔코더 정보로부터 dead reckoning 위치정보를 제공한다. 실험환경은 Fig. 6과 같으며 벽, 종이상자, 목재로 외곽을 이루고 있으며, 원은 로봇이고 S는 출발지점이다.

실험에 필요한 파라메타인 δ_w 는 그리드 사이즈와 동일한 0.05m, δ_θ 는 3° , 그리고 δ_d 는 로봇의 직경과 동일한 0.3m를 주었다.

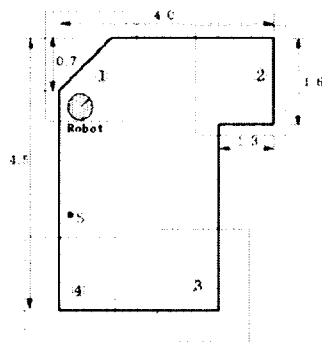


Fig. 6 Experimental environment

Fig. 7은 각 작업환경 내에서 각 모서리 부근에서 선택되어진 국부지도들과 이들 지도내의 각 점령 셀들 중 같은 방향확률 값을 갖는 셀들을 각각의 클러스터로 구분하여 최소자승법에 의한 직선선분을 추출한 결과를 나타낸다. 최소자승법에 의하면 직선의 방정식이 구해지기 때문에 선분의 종점들을 구할 수 없다. 따라서 각 클러스터에 속하는 그리드 중 직선선분 방향으로 최 끝단에 해당하는 그리드의 좌표를 각 선분의 종점으로 결정하였다.

Fig.7의 (d)에 나타난 바와 같이 모서리 부분은 감지가 양호하여 두 선분이 서로 교차하여 모서리를 잘

형성하고 있다. 그러나 나머지 경우는 모퉁이가 포함되어 있기 때문에 모퉁이에 두 선분이 교차하고 있지 못하다. 각 국부지도에서 추출된 선분을 이용하여 전체지도를 작성한 결과를 Fig.8과 Table 1에 나타내었다. 이 지도는 4절에 기술한 방법으로 동일 선분이 여러 개로 평가된 경우 융합을 하고 모퉁이를 재구성한 결과이다.

재구성된 지도를 살펴보면 전체적인 윤곽이나 직선선분은 원래의 지도와 일치하지만 각 선분들의 길이나 각도 등은 차이가 나고 있다. 이것은 현재 이 실험에서는 위치보정을 위한 어떠한 방법도 쓰지 않았으며 따라서 로봇이 이동함에 따라 위치 및 각도 오차가 발생하여 각 국부지도에서 평가된 직선 선분의 위치 및 각도에 이 오차가 반영되었기 때문이다.

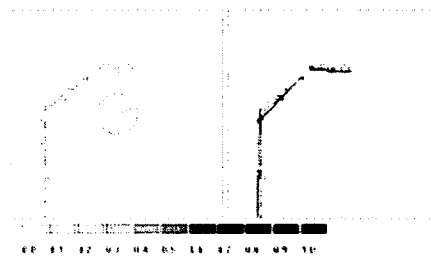


Fig. 7. (a) Position 1

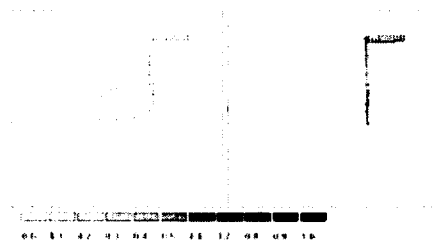


Fig. 7. (b) Position 2

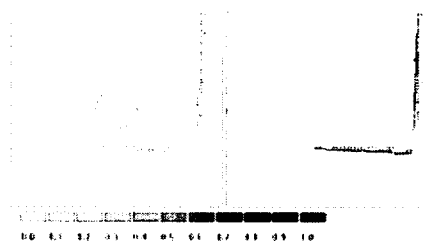


Fig. 7. (c) Position 3

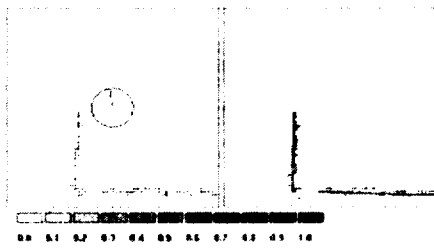


Fig. 7. (d) Position 4

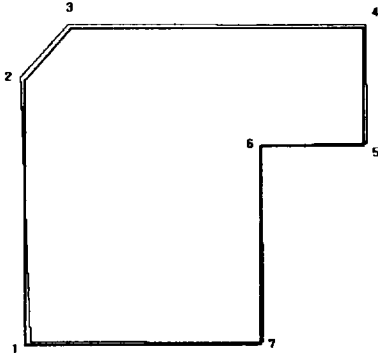


Fig. 8. Reconstructed map. The thick lines and thin lines represent the true map and the reconstructed map, respectively.

Table 1. Position error (units : m)

Position	Error	
	X	Y
1	-0.085	-0.073
2	0.055	-0.108
3	0.095	-0.118
4	-0.107	-0.091
5	-0.057	-0.068
6	-0.014	-0.021
7	-0.088	-0.109

V. 결 론

본 연구에서는 그리드 형태의 지도에 대해 방향확률을 평가하고 이것으로부터 직선선분을 추출하여 지도를 형성하는 방법을 제시하였다. 각 그리드의 방향값으로부터 직선 선분을 평가하기위해서 최소자승법을 이용하였으며, 추출된 직선선분들을 통합하여 선분 및 모서리 부분을 재구성하여 지도를 형성하였다. 개발된 방법을 실험으로 검증한 결과 다수의 선분이

공존하는 환경에서도 각각의 직선선분을 독립적으로 추출이 가능하였으며 추출된 직선선분을 이용한 형상 기준 지도 작성이 가능함이 입증되었다. 다만 지도형성과정에서 발생하는 로봇의 위치오차영향으로 각 선분의 위치오차가 많이 발생하였으며 이는 지도형성시에 위치를 동시에 추적하는 방법을 적용함으로써 해결이 가능하다.

참고문헌

- 1) H. Moravec, 1989, Sensor fusion in certainty grids for mobile robots, In Sensor Devices and Systems for Robotics, pp. 253-276, Springer-Verlag, Nato ASI Series.
- 2) J. J. Leonard and H. F., Durrant-White, 1992, Direct Sonar Sensing For Mobile Robot Navigation, Kluwer Academic Publisher.
- 3) A. Elfes, 1987, Sonar-based real-world mapping and navigation, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3(3), pp.249-265, June.
- 4) 임종환, 1994, 초음파센서를 이용한 자율이동로봇의 지도형성 탐사 및 경로계획, 박사학위논문, 포항공과대학교.
- 5) J. H. Lim, D. W. Cho, 1994, Real Time Map Construction and Position Estimation using Sonar Sensors, ISCA, Vol. 1, No. 2, pp.111-124.
- 6) S. K. Kang, J. H. Lim, 1999, 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.
- 7) 홍현주, 권식근, 노영식, 2001, 초음파센서를 이용한 이동 로봇의 직선선분 지도 작성, 제어자동화 시스템공학회지, 제 7권, 제 9호, pp.783-789.
- 8) J. H. Lim and D. W. Cho, 1994, Specular Reflection Probability in Certainty Grid Representation, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, Vol. 116, pp.512-520.