

단일 초음파센서를 이용한 자율 주행 로봇의 경로 계획용 지도작성

論 文
51D-12-7

Map-Building for Path-Planning of an Autonomous Mobile Robot Using a Single Ultrasonic Sensor

金 漢 根* · 金 學 一**
(Young-Geun Kim · Hakil Kim)

Abstract - The objective of this paper is to produce a weighted graph map for path-planning of an autonomous mobile robot(AMR) based on the measurements from a single ultrasonic sensor, which are acquired when the autonomous mobile robot explores unknown indoor circumstance. The AMR navigates in the unknown space by following the wall and gathers the range data using the ultrasonic sensor, from which the occupancy grid map is constructed by associating the range data with occupancy certainties. Then, the occupancy grid map is converted to a weighted graph map using morphological image processing and thinning algorithms. The path-planning for autonomous navigation of a mobile robot can be carried out based on the occupancy grid map. These procedures are implemented and tested using an AMR, and primary results are presented in this paper.

Key Words : Atonomous mobile robot, ultrasonic sensor, map building, path planning, occupancy grid map, morphological image processing, weighted graph

1. 서 론

자율주행로봇(Autonomous mobile robot)이란 인간의 간섭이나 지시 없이 공간을 이동하면서 주어진 작업을 수행하는 로봇을 말한다. 최근에 자율주행로봇은 공장에서의 물류 이송 작업, 장애자를 도와주는 일 등, 단순 반복적인 작업이나, 핵폐기물 처리장 또는 심해와 같이 위험한 환경에서의 작업을 인간을 대신하여 수행하고 있다. 그러나, 현재까지 로봇의 인지 능력과 추론 능력이 인간과 비교하여 열등하기 때문에 자율주행로봇의 기능은 매우 제한적이며, 따라서 아직도 많은 연구가 필요한 분야이다[1].

자율주행로봇이 갖추어야 할 기본적인 기능은 원하는 목표 지점까지 충돌 없이 이동할 수 있는 지능적 항법(Intelligent navigation) 능력이다. 지능적 항법을 위해서는 다음과 같은 세가지 요소 기술이 필요하다. 첫째, 작업영역의 전역적인 환경정보를 표현하는 지도를 이용하여 출발점에서 목표점까지의 최적의 경로를 탐색하는 경로계획(Path planning) 기술. 둘째, 주행 중 센서에 의해 얻어진 지역적 환경정보를 이용하여 경로계획 시 예측치 못한 장애물을 회피하는 실시간 장애물회피(Real-time obstacle avoidance) 기술. 셋째, 주행 시 로봇의 현재 위치를 지도상에서 정확히 알아내는 위치결정(Localization) 기술. 이 중 경로계획과 위치결정

을 위해서 지도로 표현되는 환경정보가 필요하며, 이러한 지도는 사람이 제작하여 로봇에 제공될 수도 있으나, 수시로 변화하는 환경에서는 잦은 수정을 요구한다. 특히, 사람이 접근하기 힘들거나 환경정보를 얻기 힘든 곳에서는 사람이 지도를 작성하는 것이 매우 어렵기 때문에, 로봇이 센서를 이용하여 지도를 작성할 수 있는 기능을 필요로 하는데, 이를 지도작성(Map building)이라고 한다.

본 연구의 목적은 회전하는 단일 초음파센서를 사용하여 다중 초음파 센서와 같은 성능을 얻고, 이를 이용하여 미지의 실내환경에 대한 점유격자지도(Occupancy grid map)를 작성하는 베이지안 확률추론법(Bayesian probability reasoning)을 개선하고, 작성된 지도를 이용하여 가장 짧은 경로를 탐색하기 위한 수리형태학적 영상처리(Morphological image processing) 기법을 개발하는 것이다. 본 논문은 자율주행로봇이 건물 내부로 제한한 작업영역에 대하여 벽따라가기(Wall-following)를 하면서 일정 간격마다 단일 초음파 센서로 얻어진 자료로부터 점유격자지도를 작성하고, 이를 디지털 영상으로 변환한 후, 수리형태학적 영상처리와 세션화를 적용하여 보로노이 그래프(Voronoi graph)를 추출하고, 가중값 그래프(Weighted graph)로 전환하며, 이를 이용하여 경로계획을 수행하는 일련의 과정을 개발하고, 실제 실험 결과를 제시한다.

2. 점유격자지도의 작성

자율 주행 로봇에 사용되는 지도는 모델기반 지도(Model-based map)와 격자 지도(Grid map)로 분류될 수 있다[1]. 모델기반 지도는 실내 환경을 벽면, 모서리, 구석

* 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 情 報 通 信 大 學 院 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 情 報 通 信 工 學 部 副 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 2001年 6月 19日

最 終 完 了 : 2002年 10月 31日

등의 모델로 구분하고, 각각의 모델의 공간적 특성을 표현하는 지도로서, 인간의 공간인지 방식과 유사하지만, 이로부터 공간 내부의 장애물 유무 정보를 얻기 힘들기 때문에 경로 계획에 사용할 경우 이동 가능한 공간의 표현이 어려운 단점이 있다. Dyrrant-Whyte, Leonard, Cox[2][3]는 초음파 센서를 사용하여 모델기반지도를 작성방법을 제시하였고 Freud, Dierks[4]는 레이저 센서를 사용한 지도작성방법을 제시하였지만 주로 위치보정을 위해 사용되었다. 반면, 격자 지도는 공간을 격자로 나누어 각 격자에 물체의 존재 유무를 확률적으로 표시하기 때문에 경로 계획시 장애물 유무 정보를 이용하여 충돌없는 이동경로를 얻기 쉽고, 거리센서를 이용한 즉각적인 지도의 정보 수정이 이루어질 수 있으며, 불확실한 센서 측정치로도 물체의 존재 유무를 효율적으로 표시할 수 있는 장점이 있다[5]. Elfes가 제안한 점유격자 지도[6]는 확률과 비슷한 확실성값(Certainty)으로 표현되기 때문에 많은 계산량과 저장공간을 필요로 한다는 단점이 있으나, 베이지안 확률추론(Baysian probability reasoning)을 사용하여 물체의 존재 유무를 재귀적으로 수정할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 지도작성시 다중 초음파센서를 사용한 것과 같은 성능을 구현하기 위하여 회전하는 단일 초음파 센서를 사용하였다. 다중 센서를 사용한 경우, 일반적으로 전 영역을 확보할 수 있도록 빔각도 단위마다 센서를 배치하게 된다. 이는 하나의 센서를 빔각도 단위만큼 회전시킨 것과 같은 결과를 나타내게 된다.

점유격자지도를 작성하기 위하여 주행로봇이 그림 1(a)와 같은 실내 작업영역 공간을 0.2m/sec의 속도로 오른쪽으로 따라가면서 1m 마다 정지하여 약 6초 동안 그림 1(b)와 같이 $-122.4^{\circ} \sim 122.4^{\circ}$ 까지 회전하며 14.4° 간격으로 18 방향의 초음파 센서 측정치를 얻는다. 주행로봇이 0.2m/sec의 낮은 속도로 주행한 이유는 미끄러짐을 최소화하여 보다 정확한 측정결과를 얻기 위함이다. 실험에 사용된 실내 작업영역의 크기는 가로, 세로 크기는 약 $20 \times 30m$ 이고, 사용된 초음파 센서는 PC와 병렬포트로 연결된 스텝모터에 의해 회전되며, 빔각도 $\pm 7.5^{\circ}$, 최대측정거리 6.5m, 최소측정거리 0.3m, 분해능 2.5cm이고, 정지상태에서 정면 측정오차를 0.05%를 갖는다.

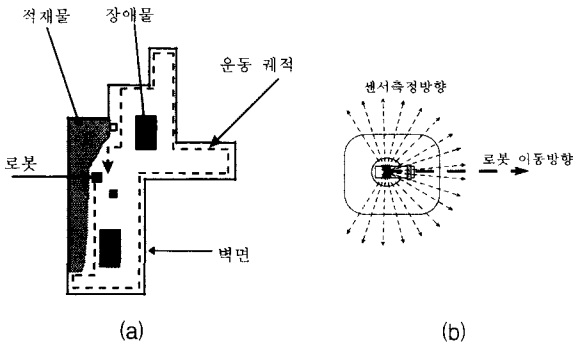


그림 1 (a) 주행실험 실내구조 및 주행궤적 (b) 초음파 센서 측정 방향.

Fig. 1 (a) Indoor environment and wall-following path (b) Directions of ultrasonic sensor measurements.

주행로봇은 미국 TRC사의 LABMATE를 사용하였다. LABMATE는 RS232C 직렬포트를 통하여 PC로부터 명령을 전달 받아 DC서버모터에 의해 구동되는 독립된 두 개의 주 바퀴와 각 모서리에 한 개씩의 수동 바퀴로 주행하며, 제자리에서 회전 가능한 차동형 주행 로봇(2 wheel differential drive robot)이다. 주행 시 로봇의 위치는 바퀴에 부착된 엔코더로부터 추측항법(Dead reckoning)에 의해 초기 위치로부터 상대적인 위치가 구해진다. 추측항법에 의한 위치는 초기 위치를 기준으로 주행할수록 누적되는 오차를 가진다. 그림 2(a)는 추측항법 위치 정보가 누적된 오차에 의하여 오른쪽 방향으로 치우친 것을 보여준다. 이러한 오차는 좌우 바퀴를 구동함에 있어 바퀴 크기의 차이, 기어 비의 차이 등 로봇 자체의 오차와 바퀴와 노면과의 미끄러짐에 의해 발생하는 환경적인 오차로 나누어 생각할 수 있다. 환경적인 오차는 불확실한(stochastic) 오차이기 때문에 실험을 통해 정량적인 데이터를 얻을 수가 없는 반면에, 로봇 자체의 오차는 예측 가능한(deterministic) 오차이므로 로봇의 주행 특성을 분석하여 보정할 수 있다. 반복된 실험을 통하여 사용된 주행로봇이 직선으로 주행할 때 $0.1516^{\circ}/m$ 씩 일정하게 오른쪽으로 기울어짐을 알아 내었고, 이에 따라 로봇의 위치를 전역적으로 보정하였으며, 그 결과는 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 원래 지도와 일치한다.

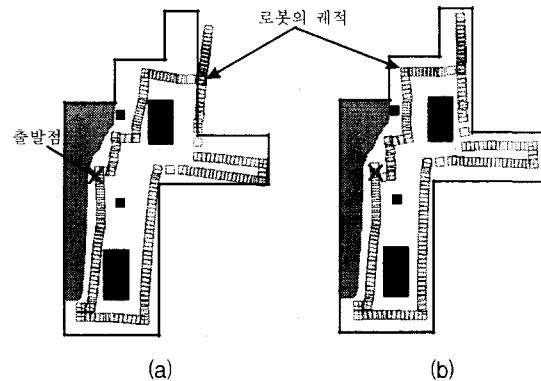


그림 2 예측가능한 위치오차의 보정: 보정전(a)과 보정후(b)의 로봇의 주행 궤적.

Fig. 2 Correction of deterministic position errors : (a) before, (b) after.

Elfes는 격자 상의 한 셀의 점유 정도를 센서 측정에 의한 점유확률 밀도함수를 정의하여 나타내었다[7]. 점유값이 계산된 셀의 위치는 그림 3과 같이 센서를 중심으로 센서의 정면을 0° 로 하는 극좌표 (r, θ) 로 표현되고, 초음파 센서가 거리 d 를 측정하였을 때 점유확률 밀도함수는 식 (1)과 같이 r 축 방향으로 평균이 d 인 정규분포 밀도함수로 정의된다. 즉, 센서로부터 d 만큼 사이의 공간에는 물체가 존재할 확률이 적고, d 에 가까운 공간일수록 벽이나 장애물에 의해 점유되었을 확률이 높다는 것을 의미한다. 그리고 r 축을 따라 위치가 d 보다 큰 위치의 셀들에 대해서는 물체에 가려서 정보를 알 수 없다고 여겨 0.5의 확률을 갖는다. θ 축으로의 점유확률 밀도함수는 식 (2)와 같이 센서의 중심축을 대칭으로 하는 정규분포 밀도함수로 정의하였다. 이것은 초음파 센서의 음파 지향성 특성에 기인한다.

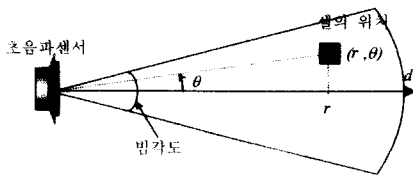


그림 3 점유확률값이 수정될 대상 셀의 극좌표 위치.
 Fig. 3 Polar coordinate of a cell whose probability of occupancy is to be updated.

r 과 θ 각각에 관하여 정의된 점유확률 밀도함수들의 결합확률 밀도함수(Joint probability density function)는 식 (3)과 같고 2차원 격자상 셀의 점유확률 밀도함수가 된다.

$$p(d|r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r-d}{\sigma_d}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$p(d|\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta}{\sigma_\theta}\right)^2\right] \quad (2)$$

$$p(d|r, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma_\theta\sigma_d} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{r-d}{\sigma_d}\right)^2 + \left(\frac{\theta}{\sigma_\theta}\right)^2\right)\right] \quad (3)$$

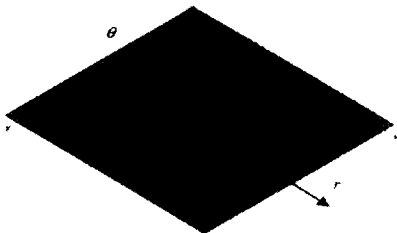


그림 4 Elfes가 제안한 점유확률밀도함수[7]
 Fig. 4 The occupancy probability density function proposed by Elfes[7]

Elfes가 제안한 점유확률 밀도함수는 음파 지향성을 가진 초음파 센서의 이상적인 센서 모델과 부합되지만, 측정 오류 발생시 r 축으로의 급격한 확률 변화로 인해 셀의 점유확률 계산 시 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 논문에서는 측정 오류 발생시에도 점유 확률 계산에 큰 영향을 미치지 못하도록 하기 위해 Elfes가 제안한 점유확률 밀도함수[7]를 식 (4)와 같이 변형하였다.

수정된 밀도함수(Modified density function)는 그림 5(a)와 같이 r 축으로의 밀도함수가 센서로부터 d 까지 사이의 셀들의 확률이 0이 아닌 일정한 값이 되며, θ 방향으로의 밀도함수는 빔각도 이내에서의 밀도값을 일정하게 하는 균일 밀도함수(Uniform density function)로 정의하였다. 그 이유는 가까운 거리를 측정할 때 빔 각도 이내의 방향에서 음파의 세기가 거의 차이가 없기 때문에 빔각도 이내의 모든 방향의 측정이 대체로 균등하게 일어나기 때문이다. 그림 5(b)는 제안된 밀도함수를 3차원으로 표현한 것으로, 빔각도 외의 부분은 0.5의 확률을 가진다.

$$p(d|r, \theta) = \begin{cases} \frac{(p_{max} - p_{min})}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r-d}{\sigma_d}\right)^2\right] + p_{min} & (r-d) \leq 3\sigma_d \\ 0.5 & (r-d) > 3\sigma_d \end{cases} \quad (4)$$

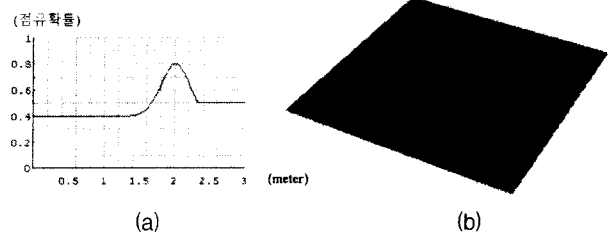


그림 5 제안된 점유확률밀도함수 (a) r 축 방향의 그래프 ($d=2m, p_{max}=0.8, p_{min}=0.4, \sigma_d=16cm$) (b) 3차원 그래프
 Fig. 5 The occupancy probability density function proposed on this paper (a) Plot along the r axis ($d=2m, p_{max}=0.8, p_{min}=0.4, \sigma_d=16cm$) (b) 3D graph

Elfes가 제안한 베이지안 확률 수정식[7]을 사용하면 여러 개의 측정값으로 셀의 점유확률을 재귀적으로 얻어낼 수 있다. 셀의 점유확률은 현재 시점인 $t+1$ 까지의 모든 측정 정보 집합 $\{d\}_{t+1}$ 에 대한 셀 C_i 가 점유되었을 확률 $P[S(C_i)=O|\{d\}_{t+1}]$ 로 정의된다. 여기서 S 는 셀 C_i 의 점유 상태를 나타내며, 점유 (occupied) 상태 O 또는 비점유(empty) 상태 E 를 갖는다.

$P[S(C_i)=O|\{d\}_{t+1}]$ 는 이전 시점 t 까지의 셀의 점유 확률값 $P[S(C_i)=O|\{d\}_t]$ 와 $t+1$ 시점의 측정 확률 밀도 함수값 $p[d_{t+1}|S(C_i)=O]$ 을 이용하여 베이지안 조건 확률 수정식 (Bayesian probability updating formula)인 식 (5)로 표현된다.

$$P[S(C_i)=O|\{d\}_{t+1}] = \frac{p[d_{t+1}|S(C_i)=O]P[S(C_i)=O|\{d\}_t]}{\sum_{S(C_i)} p[d_{t+1}|S(C_i)]P[S(C_i)|\{d\}_t]} \quad (5)$$

베이지안 확률 수정식은 이전 셀의 점유확률과 현재 측정 점유밀도확률을 이용하여 현재의 점유 확률을 재귀적으로 얻을 수 있다는 장점이 있다. 식 (5)에서 현재 셀의 점유 확률은 식 (3) 또는 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다. Elfes가 제안한 식 (3)을 사용할 경우 측정치 이외의 셀들의 점유 확률 밀도 값이 0이 되므로, 식 (5)의 계산결과 또한 0이 된다. 이는 측정 오류 발생시 재귀적으로 얻어낸 각 셀의 점유값을 모두 잃어버리게 되므로 지도의 질이 크게 훼손되는 원인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 측정 오류 발생시에도 각 셀들이 최소한의 점유값을 유지할 수 있게 식 (3)을 식 (4)와 같이 수정한 것이다.

식 (5)에서 $P[S(C_i)=O|\{d\}_t]$ 는 이전 셀의 점유 확률을 나타내고, 현재 셀의 점유 확률 $P[d_{t+1}|S(C_i)=O]$ 는 식 (4)의 수정된 밀도 함수 $p(d|r, \theta)$ 로부터 구할 수 있다.

식(5)를 풀어 쓰면 식 (6)과 같고, $S(C_i)=E$ 일 경우는 식 (7)로 구할 수 있다.

$$P[S(C_i)=O|\{d\}_{t+1}] = \quad (6)$$

$$\frac{p[d_{i+1}|S(C_i)=O]P[S(C_i)=O|d_i]}{p[d_{i+1}|S(C_i)=O]P[S(C_i)=O|d_i]+p[d_{i+1}|S(C_i)=E]P[S(C_i)=E|d_i]}$$

여기서

$$P[S(C_i)=E|d_i]=1-P[S(C_i)=O|d_i]$$

$$p[d_{i+1}|S(C_i)=E]=(p_{max}+p_{min})-p[d_{i+1}|S(C_i)=O] \quad (7)$$

셀의 초기 확률값은 점유 상태를 알 수 없으므로 0.5로 한다. 그리고 셀의 점유 확률을 구할 때 셀의 위치 r 이 측정값 d 보다 크고 측정 밀도 함수값이 0.5보다 작아지는 부분은 측정에 의해서는 알 수 없는 영역으로 간주되어 갱신하지 않는다. 그림 6는 작성된 점유값 격자지도이다. 바깥 검은 영역은 수정되지 않은 부분이고 실내에 해당하는 밝은 영역은 검은 부분일수록 점유 확률값이 높은 부분이다.

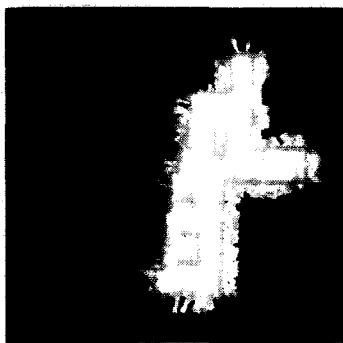


그림 6 작성된 점유값 격자 지도
Fig. 6 The constructed occupancy grid map

3. 수리형태학적 영상처리를 이용한 가중값 그래프 작성

2차원 평면공간으로 표현된 점유값 격자지도에서는 장애물들이 일정한 값을 가지는 연속된 확률들로 표현된다. 따라서, 장애물의 유무를 판단하기 위해서는 점유 확률에 대한 문턱값을 설정하여 이진화시킬 필요가 있다. 그림 8은 문턱 확률값 0.6으로 이진화된 영상으로 이 지도에서는 초음파 센서가 벽면을 측정하지 못하여 발생한 오류에 의한 점유셀들이 존재한다. 오류가 있는 점유셀들을 분리하기 위하여 수리형태학적 영상처리 기법인 열기(Opening)[8]를 사용하

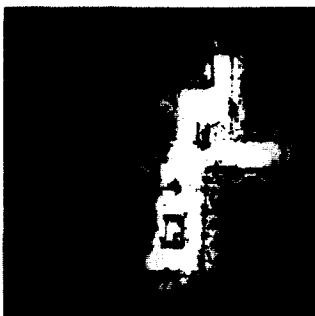


그림 8 이진화된 지도 영상 (문턱 확률값=0.6)
Fig. 8 Binarized map image (thresholding value=0.6)

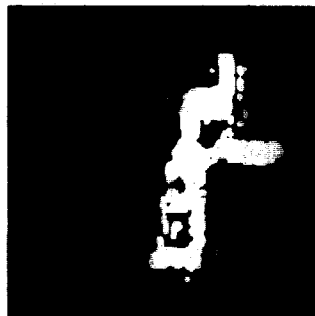


그림 9 열기 처리후 지도 영상
Fig. 9 Map image after opening

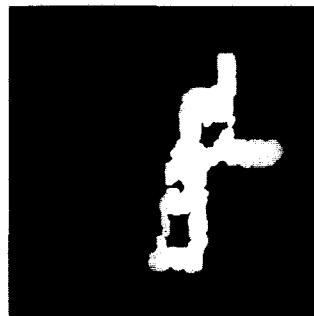


그림 10 씨앗점 채우기와 닫기 후 영상
Fig. 10 Map image after seed filling and closing

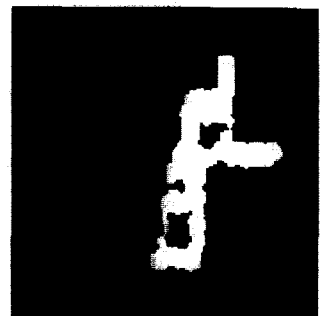


그림 11 셀 통합 후 지도 영상
Fig. 11 Map image after cell merging

여 오류 점유셀들을 분리한다. 그림 9은 그림 8을 그림 7(a)과 같은 구조요소(Structuring element)를 이용하여 열기 처리한 후의 영상으로서 오류에 의한 측정 영역이 분리되어 나타남을 알 수 있다.

분리된 오류 점유셀을 제거하기 위하여 로봇이 위치한 곳을 씨앗점(seed point)으로 하는 씨앗점 채우기(seed filling)[9]를 수행한다. 열기에서 실제 비점유 영역과 오류 비점유 영역을 끊어 놓았으므로, 씨앗점 채우기를 하면 실제적인 비점유 영역만이 남게 된다. 그 다음 작은 점유 오류들을 없애기 위하여 그림 7(b)와 같은 구조 요소를 사용하여 닫기(Closing)[8]를 수행한다. 그림 10는 씨앗점 채우기와 닫기 처리를 한 후의 영상이다.

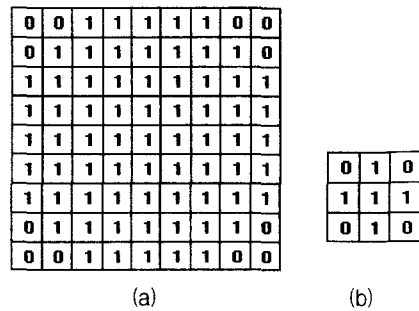


그림 7 (a) 9x9 열기 구조 요소 (b) 3x3 닫기 구조 요소
(1-비점유셀; 0-점유셀)
Fig. 7 (a) 9x9 structuring element of opening (b) 3x3 structuring element for closing (1-empty cell; 0-occupied cell)

분리된 영역의 정보를 압축하기 위하여 3x3 크기의 셀들을 하나의 셀로 통합한다. 3x3 셀 안의 모든 셀들이 점유셀이라면 새로운 셀은 점유셀이 되고, 한 개라도 비점유셀이 있으면 새로운 셀은 비점유셀이 된다. 그림 11은 셀을 통합한 후의 영상이다.

그림 11의 셀이 통합된 지도 영상에서 수리형태학적 세션화(thinning)[7][8]처리를 하여 보로노이 그래프[11]를 추출한다. 세션화 과정은 그림 12(a)~(h)의 구조 요소를 사용하여 영상에 변화가 없을 때까지 깎아내기(Erosion)를 수행한다.

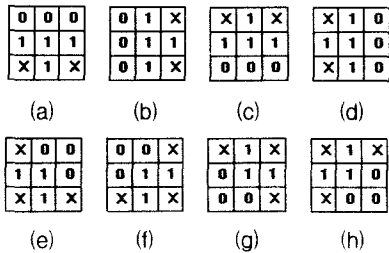


그림 12 (a)~(h) 세션화에 사용한 구조 요소[10] (1-비점유셀, 0-점유셀, x-don't care)

Fig. 12 (a)~(h) The structuring elements for thinning[10] (1-empty cell, 0-occupied cell, x-don't care)

그림 13는 세션화의 예를 보여주며, 그림 14은 그림 11을 세션화한 결과이다.

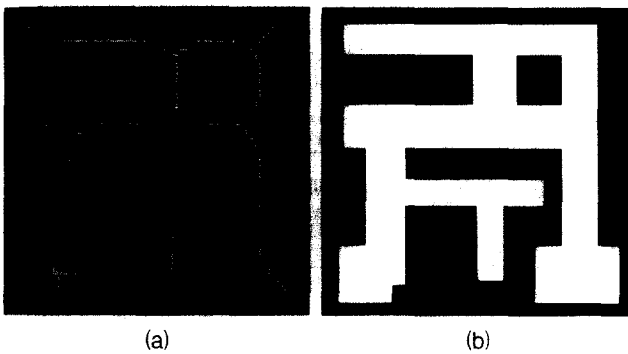


그림 13 세션화를 이용한 보로노이 그래프 추출의 예 (a) 원 영상, (b) 세션화 영상

Fig. 13 Example of extracting Voronoi graph by thinning (a) original image, (b) image after thinning

세션화된 지도를 가중값 그래프로 만들기 위한 갈림점 추출은 얻어진 보로노이 그래프 위의 각 셀에 대하여 주위 8개 셀들의 값의 변화량을 센다. 변화량은 갈림길 갯수의 2배에 해당하므로 갈림길의 갯수를 알 수 있는데, 구해진 갈림길의 갯수가 3 개 이상이면 갈림점으로 등록한다.

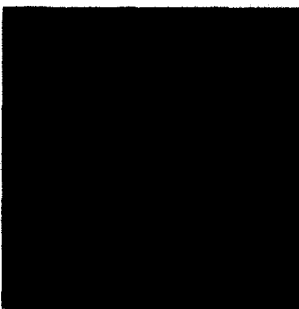


그림 14 그림 10를 세션화하여 추출한 보로노이 그래프
Fig. 14 Extracted Voronoi graph by thinning Fig. 10



그림 15 그림 14의 보로노이 그래프에서 추출된 갈림점
Fig. 15 Extracted connection points in the Voronoi graph of Fig 14

가중값 그래프를 작성하기 위하여 갈림점들을 가중값 그래프의 연결점(node)으로 등록하고, 등록된 연결점 사이의 연결성을 찾기 위하여 추출된 갈림점들 사이의 거리와 연결성 여부를 검사한다. 그림 11에서 두 연결점 사이의 선분 위의 셀들을 Bresenham 알고리즘[9]을 사용하여 탐색하면서, 선분 위의 셀 중 점유셀이 존재하면 두 연결점이 연결 되지 않는 것으로 간주하고, 연결된 것으로 판단할 경우에는 두 연결점 사이의 거리를 두 갈림점 사이의 거리로 하여 가중값 그래프의 연결 링크로 저장한다. 모든 갈림점 쌍에 대하여 검색이 끝난 후, 거리값이 없는 행렬의 원소는 무한대의 거리값을 저장함으로써 가중값 그래프를 완성한다. 가중값 그래프는 노드와 노드 사이의 거리를 원소로 하는 2차원 행렬로 표현되며, 경로계획에서는 시작위치와 목표위치가 주어지면 Dijkstra[12]의 최소경로탐색 알고리즘을 이용하여 두 노드사이의 가장 짧은 경로를 구할 수 있다. 그림 16는 실제 실험에서 임의의 시작위치와 목표위치에 대하여 탐색된 최단경로를 보여주고 있다. 결과적으로 탐색된 경로는 엄격한 의미에서 최단경로를 보장하지 않지만, 세션화 과정과 노드 추출에 따라 얻어진 보로노이 그래프 상에서 각 노드와 노드 사이의 거리를 고려함으로써 Dijkstra 알고리즘이 중간 노드들을 지나는 최단의 경로를 보장한다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 자율주행로봇이 미지의 실내환경을 주행하며 단일 초음파 센서를 회전시켜 획득된 거리 측정치를 베이지안 확률추론법을 이용하여 점유값 격자지도로 구성하고, 이로부터 주행 가능한 경로들을 생성하고 최단경로계획을 탐색하기 위한 수리형태학적 영상처리 기법들을 제안하였으며, 실제 주행로봇을 이용한 실험을 통하여 결과를 제시하였다. 특히, 기존에 Elfes가 제안한 초음파 센서의 확률 밀도 함수 모델을 수정하여 보다 실용적인 초음파 센서 모델을

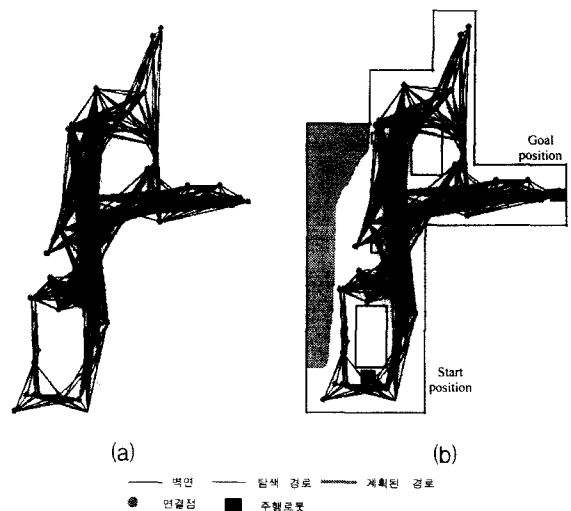


그림 16 (a) 작성된 가중값 그래프, (b) 가중값 그래프를 이용한 경로 계획의 예

Fig. 16 (a) The constructed weighted graph (b) Example of the path planning using the weighted graph

세안함으로서 베이지안 확률 추론법의 단점을 보완하였다. 또한, 가중값 그래프 생성하는 수리형태학적 영상처리기법에 의해서 간헐적 초음파 센서의 오차를 제거할 수 있었다. 이 방법은 불필요한 노드를 만들어 내는 단점이 있으나, 고속 알고리즘 구현이 가능하며, 격자 지도를 이용한 보로노이 그래프 방법의 단점인 거리 계산량이 많은 것을 가중값 그래프 형태로 변환함으로써 보완하고, 일반적인 보로노이 그래프 방법의 단점인 불필요한 우회 경로를 줄일 수 있다.

본 연구 결과의 문제점은 지도 작성시 발생하는 불확실한 위치 오차를 보정하지 못한다는 것이다. 본 연구에서와 같이 바닥에 굴곡이 없는 환경에서는 로봇자체의 오차를 예측함으로써 지도 작성을 위한 위치 오차를 보정할 수 있었지만, 이는 매우 제한적이며 여전히 바퀴와 노면과의 미끄러짐과 같은 불확실한 오차는 보정할 수 없다는 문제점이 존재한다. 이러한 오차를 보정하기 위해서는 랜드 마크나 비콘 등의 전역적 참조 정보를 이용하거나, 같은 지점을 여러 번 측정하여 얻은 센서 정보를 이용하여 통계적으로 위치를 보정하는 방법, 그리고 센서정보와 추측행법의 위치정보를 융합하여 위치에 대한 신뢰도를 높이는 방법들이 있을 것이다. 향후 효율적인 위치 보정 방법도 연구되어야 할 것이다. 또한 불필요한 노드를 제거할 수 있는 효율적인 알고리즘의 연구가 필요하겠다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부, 인하대학교 슈퍼지능기술 연구소(Super Intelligence Technology Center), 서울대학교 자동화시스템공동연구소(Automation Systems Research Institute)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] D. Kortenkamp, R. P. Bonasso, R. Murphy, Artificial Intelligence and Mobile Robots, AAAI Press/MIT Press, 1998.
 [2] J. J. Leonard, H. F. Durrant-Whyte. Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation. Kluwer Academic Publisher, 1992.
 [3] J. J. Leonard, H. F. Durrant-Whyte, I. J. Cox. "Dynamic Map Building for an Autonomous Mobile Robot," Int. Journ. of Robotics Research, pp. 286-298, 1992.
 [4] I. J. Cox, "Blanche- An Experiment in Guided and Navigation of an Autonomous Robot Vehicle," IEEE Trans. on Robotics and Automation, pp. 193-204, 1991.
 [5] J. Borenstein, Y. Koren, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance," IEEE Trans. on Robotics and Automation, pp. 535-539, 1991.
 [6] H. Moravec, A. Elfes, "High Resolution Maps from

Wide Angle Sonar," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.116-121, 1985.
 [7] A. Elfes, "Using Occupancy Grids for Mobile Robot Perception and Navigation," IEEE Computer, pp.46-57, 1989.
 [8] R. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing, 1992.
 [9] A. Watt, F. Policarpo, The Computer Image, Addison-Wesley, 1998.
 [10] R. T. Chin, H. K. Wan, D. L. Stover, R. D. Iverson, "A One-Pass Thinning Algorithm and Its Parallel Implementation," IEEE. Computer Vision, Graphics and Image Processing, pp. 30-40, 1987.
 [11] H. Choset, J. Burdick, "Sensor Based Planning Part I: The Generalized Voronoi Graph," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1649-1655, 1995.
 [12] M. A. Weiss, Data Structures and Algorithm Analysis in C++, Benjamin Cummings Pub. Co., 1994.
 [13] J. Miura, Y. Shirai, "Vision and Motion Planning for a Mobile Robot under Uncertainty," Int. Journ. of Robotics Research, Vol. 16, No. 6, pp. 806-825, 1997.
 [14] A. Ohya, A. Kosaka, A. Kak, "Vision-Based Navigation by a Mobile Robot with Obstacle Avoidance Using Single-Camera Vision and Ultrasonic Sensing," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 14, No. 6, pp. 969-978, 1998.

저 자 소 개

김영근 (金 漢 根)

1975년 9월 12일생. 2001년 인하대 기계공학과 졸업. 2001년~현재 동 정보통신대학원 석사과정
 Tel : 032-860-7385, Fax : 032-863-4386
 E-mail : youngun@huro.inha.ac.kr

김학일 (金 學 一)

1960년 3월 30일생. 1983년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1990년 Purdue Univ. 전기/컴퓨터 공학과 졸업 (공학). 1990년~현재 인하대학교 정보통신공학부 부교수
 Tel : 032-860-7385, Fax : 032-863-4386
 E-mail : hikim@inha.ac.kr