



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2007년05월07일
<i>B25J 9/16</i> (2006.01)	(11) 등록번호	10-0715609
<i>B25J 5/00</i> (2006.01)	(24) 등록일자	2007년05월01일

(21) 출원번호	10-2006-0003738	(65) 공개번호
(22) 출원일자	2006년01월13일	(43) 공개일자
심사청구일자	2006년01월13일	

(73) 특허권자 학교법인 포항공과대학교
 경북 포항시 남구 효자동 산31번지

(72) 발명자 허진욱
 제주 서귀포시 서홍동 442-1

 정완균
 경북 포항시 남구 지곡동 756 교수아파트 8동 603호

(74) 대리인 김영길

(56) 선행기술조사문헌	
JP11085273 A	JP2003036116 A
KR1019990009119 A	KR1020050024840 A

심사관 : 박태욱

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도형성 및 자율주행방법

(57) 요약

본 발명은 가정환경에서의 이동로봇이 효율적으로 지도를 작성하고 자율적으로 주행하게 하기 위한 위상학적 지도 형성 및 주행 방법에 관한 것이다.

본 발명은 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법에 있어서,

상기 위상학적 지도 형성 및 자율 주행방법은,

영역 사이를 연결하는 위치로 그 폭이 이동로봇이 지나갈 수 있으나 제한된 폭을 가지는 옛지와, 장애물로 둘러싸인 영역이고 상기 옛지를 통해 다른 노드로 이동할 수 있는 노드를 이용하고; 상기 위상학적 지도 형성 방법은 센서들로부터의 정보를 이용하여 옛지를 인식하고, 이 옛지들을 중심으로 위상학적 지도를 형성하며;

상기 위상학적 지도를 형성하기 위하여,

기본적으로 벽을 따라 이동하면서 엣지의 위치들을 찾아내고, 노드 영역을 구분하여, 상기 노드 영역에 대한 지도를 형성하고; 엣지를 통해 다른 노드로 이동한 후, 잘못된 엣지들을 제거해 주는 과정을 반복하는 것을 특징으로 한다.

이상과 같은 본 발명을 이용하면, 가정환경에서 이동로봇이 효율적으로 지도를 작성하고 자율적으로 주행하게 하기 위한 위상학적 지도 형성 및 주행 방법이 제공된다.

대표도

도 11

특허청구의 범위

청구항 1.

가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법에 있어서,

상기 위상학적 지도 형성 및 자율 주행방법은,

영역 사이를 연결하는 위치로 그 폭이 이동로봇이 지나갈 수 있으나 제한된 폭을 가지는 엣지와, 장애물로 둘러싸인 영역이고 상기 엣지를 통해 다른 노드로 이동할 수 있는 노드를 이용하고;

상기 위상학적 지도 형성 방법은 센서들로부터의 정보를 이용하여 엣지를 인식하고, 이 엣지들을 중심으로 위상학적 지도를 형성하며;

상기 위상학적 지도를 형성하기 위하여,

기본적으로 벽을 따라 이동하면서 엣지의 위치들을 찾아내고, 노드 영역을 구분하여, 상기 노드 영역에 대한 지도를 형성하고;

엣지를 통해 다른 노드로 이동한 후, 잘못된 엣지들을 제거해 주는 과정을 반복하는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 상기 엣지를 통한 다른 노드로의 이동은 Depth First Search방법을 이용하는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 3.

제 1항에 있어서, 이동로봇이 지도를 형성하기 위한 자율주행으로 벽을 따라 이동하면서 엣지의 위치들을 찾아냈을 때, 벽에 평행한 방향으로 이동함으로써 노드라고 정의된 영역에 연결된 엣지의 개수 및 위치를 파악하여, 상기 위상학적 지도 형성에 상기 파악된 엣지의 개수와 위치가 이용되는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 4.

제2항에 있어서, 상기 엣지를 통한 다른 노드로의 이동은,

연결된 엣지 중 이동해야 할 엣지를 찾아내고 엣지의 시작점으로 이동한 후 엣지 방향으로 이동함으로써 다음 노드로 넘어가는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 5.

제 1항에 있어서, 지도형성 중에, 연결하는 엣지가 2개 이상인 경우 또는 원래 하나였으나 사이에 놓여있는 장애물로 2개 이상으로 인식되는 경우에는 각 노드간의 상대적인 위치에 의해 노드 추가 여부가 결정되는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 6.

제 1항에 있어서, 상기 잘못된 엣지를 제거해 주기 위하여, 엣지가 존재하지 않지만 장애물과 장애물 사이에 엣지가 있다고 생각되는 퓨전 엣지의 경우, 이 엣지를 제거하는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 7.

제 1항에 있어서, 상기 잘못된 엣지를 제거해 주기 위하여, 한쪽 끝에 다른 노드가 연결되지 않는 데드-엔드 엣지의 경우, 이 엣지를 제거하는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

청구항 8.

제 6항에 있어서, 상기 퓨전 엣지 제거는 엣지를 따라서 이동 후 새로운 노드가 나타났을 때의 엣지의 종료 지점이, 직전 노드의 다른 엣지의 시작지점의 위치와 일치하게 되면 제거하는 것을 특징으로 하는 가정환경에서의 이동로봇의 위상학적 지도 형성 및 자율주행 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 가정환경에서의 이동로봇이 효율적으로 지도를 작성하고 자율적으로 주행하게 하기 위한 위상학적 지도 형성 및 주행 방법에 관한 것이다.

최근 이동로봇 기술 개발이 활발해지면서 이동로봇이 더 이상 산업현장에서만 쓰이지 않고 다양한 분야에 보급이 되어, 청소용 로봇, 교육용 로봇 등 가정에서 볼 수 있는 로봇부터 군사용 목적으로도 이동로봇 기술이 적용되고 있다.

그러나, 현재의 자율주행 기술은 미리 프로그램화 되어 있는 기능만을 수행하는 수준에 머물고 있을 뿐만 아니라 장애물을 회피하는 정도의 수준밖에 되지 않아, 자율주행을 전혀 만족시키지 못하고 있다.

이것은 최근에 가정에 많이 보급 되어 있는 저가형 청소기 로봇인 룸바(원산지 : 미국)나 트릴로바이트(원산지 : 스웨덴)를 보면 알 수 있다. 이 로봇들은 주어진 영역에서 미리 프로그램화 되어 있는 경로를 따라 이동을 하면서 장애물을 피하면서 청소를 하고 있고 정확한 지도를 형성하지 않는다.

사실 일반적인 가정환경은 각 가정마다 다르고 상당히 복잡하게 구성이 되어 있어, 이러한 가정환경에서 미리 정형화되어 있는 경로를 따라 이동을 하면서 제대로 청소를 한다는 것은 힘들고 방과 방 사이를 넘나들며 청소를 하는 것은 사실상 거의 불가능하다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, E. Gonzalez, A. Suarez, C. Moreno, and F. Artigue, "Complementary regions: a surface filling algorithm," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1996, pp. 909-914.에서는, 도1에서와 같이, 가정환경에서 위상학적 구조를 구성하는 시도를 하였다.

이 연구는 도1 (a)과 같은 환경에서 (b)와 같이 위상학적 구조를 구성했다. 그렇지만 이 구성은 로봇이 어떻게 움직이게 되는가에 따라 나뉘진 것이다. 그러므로 로봇이 움직이면서 만나는 장애물이나 환경에 따라 그 구성이 크게 바뀌게 된다. 이러한 위상학적 구조는 큰 의미가 없다고 볼 수 있다.

또한, N. Tomatis, I.Nourbakhsh, R.Siegwart, "Simultaneous localization and map building: a global topological model with local metric maps", in Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2001, pp. 421-426. 에서는, 도2에서와 같이, 가정환경에서 위상학적 지도와 로컬 그리드 지도를 어떻게 구성할 것인가에 대한 연구를 하였다.

이와 같은 연구들은 hybrid 지도를 구성하기 위한 연구들이다. 즉 각 위치들에서 중요한 특징점(코너와 같은 곳)을 얻어내고 그 위치들을 위상학적 지도로 구성하자는 것이 주요 내용이다. 이 연구에서도 레이저 센서로 코너점들을 찾아내서 구성하여, 코너점의 인식 여부에 따라 위상학적 지도가 달라진다.

그리고, P. Althaus and H. I. Christensen, "Automatic map acquisition for navigation in domestic environments," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, pp. 1551-1556.에서는, 도3에서와 같이, 도 3 (a)과 같은 환경에서 도3(b)과 같은 위상학적 지도를 얻는다. 이 연구는 복도를 중심으로 많은 방들이 있는데 이 방들을 위상학적 지도로 연결하겠다는 것이다. 그렇지만 이 연구의 치명적인 약점은 각 문에서 사용자가 문이라고 알려줘야 한다는 점이다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 이상과 같은 종래기술의 문제점을 감안하여, 달라지는 가정환경에 따라 이동로봇이 어느 정도 정확한 지도를 스스로 형성하고 그 지도를 바탕으로 청소를 할 수 있는 능력이 있도록 하기 위하여, 지도형성부터 주행까지 모든 과정을 자율적으로 행할 수 있는 알고리즘을 제공한다.

이를 위해, 본 발명에서는 가정환경에서 스스로 방과 방 사이를 넘나들며 지도를 형성하고 그 지도를 바탕으로 청소를 할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

집안 환경은 보통 그리드 지도를 가지고 있지만 새로운 노드와 엣지를 정의함으로써 이러한 환경을 위상학적 지도와 그리드 지도로 나누게 되고 경로형성에서 더 많은 이점을 가질 뿐만 아니라 청소용 로봇에서 중요한 구간 청소 또는 특정 방안을 청소 할 수 있는 장점을 가지게 하였다.

보다 구체적으로 설명하면, 본 발명은 가정환경에서 다른 영역으로 지나가기 위해 꼭 지나가야 하는 위치들을 찾아내서 그 위치들을 중심으로 위상학적 구조를 구성하고, 꼭 지나쳐야 하는 점들이 하나의 엣지라는 위치가 되는 것이고 전체적인 환경을 위상학적 구조로 나타내며, 얻어진 위상학적 구조는 생긴 노드와 엣지들이 많이 생기지 않고, 구성된 위상학적 구조는 장애물과 같은 것에 의해 쉽게 변화되지 않는 장점이 있다.

이하에서 좀 더 자세히 설명하겠지만 본 발명의 기본 개념은 가정환경을 방과 같은 커다란 영역으로 구분하고자 하는 것이 기본 개념이라 할 수 있겠다. 이와 같이 영역으로 구분했을 경우 로봇을 특정 영역으로 이동시킬 때 유리하게 된다. 즉 공간적 개념이 일반사람들의 개념(방으로 나뉘어져 있다는 점)과 비슷하므로, 상업적 로봇을 특정한 방으로 이동시킬 수 있게 된다.

또한, 본 발명에서는 로봇이 모든 과정을 자율적으로 함으로써 위상학적 지도를 구성한다는 것이다. 로봇은 전체 지도형성이 끝날 때까지 스스로 움직이면서 각 영역의 로컬 그리드 지도와 위상학적 지도를 얻게 된다.

발명의 구성

일반적인 가정환경은 도4와 같이 커다란 거실과 몇 개의 방으로 구성 되어 있다. 각 방과 거실들은 벽이나 고정된 장애물들로 나누어져 있고, 각 방들은 다른 방이나 거실로 이동하는 특정한 공간, 즉 문이라는 것을 가지고 있다.

이러한 특징을 살려서 가정환경을 몇 개의 영역으로 나누게 되면 도4(a)처럼 나눌 수 있다. 그 영역들은 일반 사람들이 생각하는 방일 수도 있고 거실을 두 영역으로 나눈 것처럼 어떠한 고정된 장애물에 의해 나뉘질 수도 있다. 여기서 각 영역들은 다른 영역으로 넘어갈 수 있는 특징 있는 영역을 가지고 있으며, 이것은 문이 될 수도 있고 고정된 장애물에 의해 생긴 영역일 수도 있다. 이 영역을 중심으로 전체 가정환경을 몇 개의 영역으로 나누게 되면 도4(a)는 총 4개의 영역으로 나뉘지게 된다.

또한, 이러한 가정환경에서 각 나뉜 영역들을 노드라 하고 각 노드를 연결하는 문과 같은 영역들을 엣지라고 한다면 도4(b)와 같이 위상학적 구조로 구성할 수 있게 된다.

이처럼 가정환경에 위상학적 구조를 도입하는 이유는 여러 가지가 있다. 첫째로 노드와 엣지를 정의함으로써 한 영역에서 다른 영역으로 이동할 때 꼭 지나가야 할 위치들을 알 수 있고, 이것을 이용해서 이동을 위한 경로를 형성할 때 이 노드와 엣지를 이용할 수 있다. 그리고 가정환경의 지도를 나뉘서 가질 수 있다는 장점이 있다.

<가정환경에서의 노드와 엣지 정의>

노드와 엣지에 대한 정의를 하기 전에 먼저 몇 가지 가정을 하고 시작하고자 한다. 이 가정들은 지도형성을 위해 꼭 필요한 가정으로 다음과 같다.

1. 가정환경에서 방과 방 사이를 넘나들 수 있으며, 문지방이 없고 방문은 열려있다.
2. 위치인식이 가능하다.
3. 지도형성 해야 할 가정환경 공간의 크기는 정해져 있다.
4. 지도형성 중에는 장애물을 이동하는 경우는 없고, 지도형성 후에는 장애물이 이동 가능하다. 즉, 지도형성시 동적인 장애물(Dynamic Obstacle)은 없다.
5. 지도형성시 로봇이 장애물에 막혀 다른 영역으로 이동 못하는 경우는 없다.

첫 번째 가정은 로봇이 물리적으로 이동이 가능해야 한다는 것이다. 예전에는 방문에 문지방이 있어서 이동로봇이 그 문지방을 넘어가기 힘들었다. 즉 한 방에서만 지도형성이나 주행이 가능했으나, 최근에는 대부분의 집들이 문지방을 없애고 있어서 방문이 열려 있으면 다른 방으로 로봇은 이동할 수 있다. 로봇이 가정환경 전체를 지도형성을 해야 하므로 이 가정이 필요하다.

두 번째 가정은 위치인식이 가능해야 한다는 것이다. 위치인식이 되지 않고는 정확한 지도를 형성할 수 없기 때문이다. 최근에 나온 바코드가 있는 바닥재를 이용해서 위치인식을 할 수 있고 또는 ETRI에서 만든 StarLite 를 이용해서도 위치인식이 가능하다. 즉 이러한 위치인식이 가능한 환경에서 수행된다. 본 발명에서는 바코드를 이용해 위치인식을 하고 위치인식을 바탕으로 주행 및 지도형성 알고리즘을 적용하였다.

세 번째 가정은 지도형성을 해야 할 영역이 무한히 커서는 안된다는 것이다. 위상학적 맵핑을 할 때 Depth First Search 방법을 통해 구성을 하고 있으므로 지도형성이 끝나야 위상학적 지도가 완성이 된다. 만약 지도형성해야 할 영역이 무한히 크다면 지도형성 과정을 끝낼 수가 없게 되므로 위상학적 지도를 얻을 수 없다. 그러므로 지도형성을 해야 할 영역은 한정되어야 한다.

네 번째 가정은 지도형성 중에 장애물 이동이 생기면 엣지와 노드가 달라지게 되므로 필요한 가정이다.

마지막으로 로봇이 장애물에 막혀 다른 영역으로 이동 못하는 경우는 없다는 가정은 첫 번째 가정과 비슷한 가정으로 로봇이 다른 영역으로 넘어갈 때 장애물에 막혀서 로봇이 못 넘어가는 경우를 막기 위함이다. 장애물에 막혀 로봇이 이동을 못 하면 로봇이 모든 영역에 대해 지도형성을 하지 못하고 끝내게 되므로 필요한 가정이다.

일반적으로 위상학적 지도에서 노드는 특징있고 의미있는 지점이고, 엣지는 노드를 연결하는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 발명에서는 엣지가 노드보다 더 의미가 있기 때문에 엣지를 먼저 정의하고 나서 노드에 대해 정의하고자 한다.

엣지에 대한 정의는 다음과 같다(그림 5(a) 참조).

정의 1. (엣지)

한 영역과 다른 영역을 연결하는 위치로 그 폭은 로봇이 지나갈 수 있으나 제한된 폭을 가지고 있는 위치를 엣지라고 한다. 다음을 만족하는 위치가 엣지가 된다.

- 로봇이 통과할 수 있는 정적 장애물(Static obstacles) 사이의 빈 영역.
- 정적 장애물 사이의 폭 W .
- $(3/2)R < W < L$ (R : 로봇의 반경, L : 문의 폭)
- 노드 사이의 연결

보통 문 폭은 세계적으로 각 나라에서 일정하게 정해져 있다. 대부분의 나라에서 0.7m에서 1.5m에 해당되므로 본발명에서는 L 의 값으로 1.5m를 선택하였다. 여기서 L 의 값이 문 폭보다 크지는 않다. 그렇다고 엣지가 꼭 문에만 해당되는 것이 아니다. 앞에서 정의한 것에 해당되는 영역들은 모두 엣지가 되는 것이다(도5(b) 참조). 엣지가 가지는 정보들은 다음과 같다.

- 연결된 양 끝 노드 번호(I 시작 노드와 종료 노드의 인덱스)
- 엣지의 시작 위치와 끝 위치
- 연결된 노드간의 상대적 위치(시작 노드와 종료 노드 사이의 상대적인 위치)
- 엣지의 방향

엣지의 위치는 엣지의 폭 중간의 위치이다. 방향(엣지 방향)은 엣지가 향하고 있는 방향으로 다른 노드가 있는 방향이라고 할 수 있다. 즉 엣지라고 인식 되는 부분에 수직인 방향이고 엣지의 시작 위치에서 끝 위치로의 방향이라 할 수 있겠다.

이와 같이 엣지를 정의했을 때 엣지들은 다음과 같은 몇 가지 특징을 가지고 있다.

성질 1. (엣지)

- 엣지의 양쪽 끝은 각각 다른 영역(노드)으로 되어 있다.
- 양쪽 끝에 연결된 노드의 인덱스가 같고 그 위치가 같으면 같은 엣지이다.
- 한 영역을 연결하는 엣지는 여러 개 존재할 수 있다.

엣지의 양쪽 끝은 각각 다른 영역으로 연결이 되어야 한다는 말은 앞에서 정의한 엣지의 양쪽 끝이 같은 영역일 수는 없기 때문이다. 그리고 양쪽 끝은 반드시 어떠한 영역으로 이어져야 한다는 뜻이기도 하다. 이것은 공간적으로 봤을 때 한 영역의 양쪽 끝이 같은 공간일 수 없기 때문이다. 즉 그림 6(a)인 경우가 엣지가 되는 것이고 그림 6(b)과 같은 경우는 절대로

나올 수 없다. 그리고 한 공간에서 다른 공간으로 연결되는 영역은 여러 개 존재할 수 있지만, 연결된 공간이 같고 그 영역의 위치까지 같은 영역들이 동시에 여러 개 존재할 수 없다. 양쪽 끝에 연결된 노드의 인덱스가 같고 그 위치가 같을 경우에는 같은 엣지가 될 수밖에 없는 것이다.

일반적인 가정환경에서는 벽으로 공간이 나뉘어져 있다. 이 공간들은 벽으로 둘러싸여 있고 문으로 다른 방으로 이동을 할 수 있게 된다. 이 벽이나 고정된 장애물로 둘러싸여 있는 공간이 노드라고 할 수 있겠다(도7(a) 참조). 이 노드에 대한 정확한 정의는 다음과 같다.

정의 2. (노드)

벽이나 고정된 장애물로 둘러싸인 영역으로 엣지를 통해서 다른 노드로 이동할 수 있는 공간을 노드라고 한다.

다음은 만족하는 위치가 노드가 된다.

- 정적 장애물 또는 벽에 의해 포위된 영역
- 엣지들에 의해 다른 노드에 연결됨

노드가 가지고 있는 정보는 다음과 같다.

- 노드 번호(노드 인덱스)
 - 연결된 엣지 정보
 - 지도 정보(로컬 그리드 지도)
- 위와 같이 노드를 정의했을 때 노드는 다음과 같은 성질을 갖는다.

삭제

성질 2. (노드)

- 각 영역들은 독립된 공간들을 가지고 있다

이와 같은 노드의 성질은 각 공간이 서로 겹칠 수가 없기 때문이다. 왜냐하면 각 노드들은 벽에 의해 둘러싸여 있고 그 벽에 의해 분할되기 때문이다.

노드는 방과 같은 영역으로 생각할 수 있기 때문에 가정환경은 여러 개의 노드로 나눌 수 있다. 각 노드들은 도7(b)처럼 각각의 그리드 지도를 가지고 있으므로 각 노드에서 쌓인 오차들이 계속해서 축적되는 것을 막을 수 있다. 만약 전체 가정환경에 대한 지도 정보를 하나의 그리드 지도로 가지고 있다면 오차들은 전 영역에 대해 미치게 된다. 그렇지만 위상학적 구조를 이용해 노드에 해당되는 영역의 그리드 지도를 각각 가지고 있다면 각 노드에서 생긴 오차들은 서로 독립적이 된다는 특징이 있다.

로봇은 기본적으로 벽을 따라 이동을 하면서 초기 지도형성을 해야 한다. 이것은 뒤에서 설명할 프리-맵핑 과정으로 이 과정에서 로봇은 노드에 연결된 엣지들을 인식할 수 있다. 이 경우에 엣지를 인식하는 경우가 도8과 같이 두 가지 경우로 나뉘게 된다. 타입 A는 엣지가 로봇이 벽을 따라 진행하다 오른쪽에 존재하는 경우이고 타입 B는 로봇의 전방에 존재하는 경우이다.

타입 A인 경우에는 벽을 따라 이동하다가 오른쪽으로 회전할 때 물체와 물체 사이의 거리가 주어진 엣지의 정의에 해당하는 거리에 속하고, 그 사이에는 어떠한 물체도 인식 되지 않을 때 엣지가 있다고 인식한다.(센서로 확인이 가능하다. 실험에서는 PSD 센서 7개를 사용했으며 -30도 방향에 있는 센서와 +90도에 있는 센서로 인식된 위치 사이의 거리가 주어진 엣지의 정의에 해당하는 거리에 속하고 그 사이의 센서에는 어떠한 물체도 인식 되지 않을 때 엣지가 있다고 인식하였다. PSD센서가 아니더라도 물체의 폭을 알 수 있는 거리센서를 이용할 수 있다)

반면에 타입 B는 로봇이 이동 중에 전 방향에 생기는 것으로 벽을 따라 이동 중이거나 로봇이 직진을 하고 있을 때 나타나는 엣지이다. (실험에서는 -60, -90도에 있는 센서와 +60, +90도에 있는 센서로 인식된 위치 사이의 거리가 엣지정의에 해당하는 거리에 있고 그 사이에 있는 센서에는 물체가 인식되지 않을 때 엣지가 있다고 인식하게 된다.)

엣지가 어느 타입이냐에 따라 로봇의 움직임이 약간 달라진다. 그 움직임에 대해서는 뒤에서 자세히 설명하도록 하겠다.

<엣지가 생성되는 경우들>

앞에서 설명한 것처럼 새로운 노드와 엣지에 대한 정의를 통해 가정환경에서 위상학적 구조를 구성한다는 것은 많은 장점을 가질 수 있다. 그렇지만 엣지로 정의할 필요가 없는 부분에서 많은 부분들이 엣지로 정의되는 경우가 많다(도9 참조).

도9(a)는 다른 노드로 넘어가는 엣지가 두개가 존재하는 경우이다. 즉 방과 방을 연결하는 문이 두 개가 있는 경우가 그 예라고 할 수 있다. 이것은 엣지의 생성질에 부합되는 것으로 이 경우에는 로봇이 두 개의 엣지를 생성하게 된다.

도9(b)는 원래는 엣지가 하나이지만 엣지 사이에 장애물이 놓여 있어서 로봇이 두 개의 엣지가 있다고 생각이 되는 경우이다. 이 경우에는 로봇이 두 개의 엣지가 있다고 판단하지만 전혀 문제가 되지 않는다. 로봇은 두 개 중 어느 것을 이용하더라도 다른 엣지로 이동이 가능하기 때문이다.

도9(c)는 도9(b)와 같이 엣지 사이에 장애물이 놓여 있는 경우지만 로봇은 엣지가 한 개 있다고 인식하는 경우이다. 이 경우에 기존의 엣지의 위치가 약간 변동했다는 것 외에는 변화가 없다. 그러므로 인식된 엣지로 로봇은 이동이 가능하게 된다.

도9(d)는 기존에 엣지가 한 개가 있었는데 엣지 사이에 장애물이 놓여서 로봇이 엣지를 인식하지 못하는 경우이다. 도9(b)와 다른 점은 도9(d)의 경우에는 기존의 엣지보다 폭이 좁기 때문에 나타났다고 할 수 있다. 이 경우는 엣지의 폭이 너무 좁아서 엣지가 없다고 판단되는 것이고 폭이 좁아 엣지로 인식이 안됐다는 것은 로봇이 지나갈 수 없을 뿐더러 지나가려 했을 경우에는 충돌의 위험까지 있다. 즉 이 사이를 통해 로봇이 다른 노드로 이동하는 것은 매우 위험한 것이고 처음에 가정(로봇이 다른 영역으로 이동을 못해서는 안된다는 가정)했던 것에 어긋난다.

도9(e)는 엣지가 존재하지 않는 경우이다. 그러나 로봇은 두개의 엣지가 존재한다고 생각을 하게 된다. 로봇이 같은 위치에 있는 엣지를 2개 있다고 인식하게 되기 때문이다. 그렇지만 이 두 엣지들은 실제로 엣지가 아니다. 두 엣지들은 양 끝에 같은 노드들이 연결되어 있다. 이것은 엣지의 성질에 어긋나게 된다. 엣지들은 양 끝에 연결된 노드들이 다른 노드이어야 하기 때문이다. 로봇이 새로운 노드로 이동하기 위해서 아직 조사되지 않은(Unexplored) 엣지를 통해서 이동할 때 이 엣지들이 같은 엣지이고 같은 노드에 존재한다는 것을 알게 된다.

이 경우에는 두 엣지를 제거하게 된다. 즉 처음에는 로봇이 두 개의 엣지가 존재한다고 인식하지만 결국에는 다른 노드의 지도형성을 위해서 이동하다보면 이 엣지들은 제거가 되게 된다. 이 제거 방법에 대해서는 이하에서 좀 더 자세히 설명하도록 하겠다.

도9(f)도 엣지가 아닌 경우이다. 그렇지만 로봇은 처음에 엣지가 있다고 인식하게 된다. 그렇지만 이 엣지를 통해 다른 노드로 이동 하려 하지만 이 엣지에는 다른 노드가 연결되지 않았다는 것을 알 수 있다. 이 엣지를 데드-엔드 엣지(Dead-End Edge)라고 정의를 하겠다. 데드-엔드 엣지는 위상학적 지도에서 제거되어야만 한다.

순환적인(Cyclic) 경우가 도9(a)와 도9(b)에서 나타나게 되는데 이 경우는 새로운 노드가 이전에 매칭되는 노드가 있는가를 확인해서 해결할 수 있다. 노드의 성질에서 노드들은 서로 독립된 공간들을 가지고 있다고 하였다. 즉 서로 공간적으로 겹칠 수가 없다는 것이다. 로봇은 위상학적 구조를 가지고 있지만 각 노드들 간의 상대적 위치도 가지고 있다. 그러므로 로봇이 새로운 노드로 갔을 때 상대적 위치를 통해 이 노드가 이전에 등록이 된 노드인가를 확인 할 수가 있다. 만약 같은 노드가 이전에 있다면 새로운 노드로 추가하지 않고 현재의 엣지를 이전에 있는 노드에서 찾아서 병합시키게 된다.

<지도 구성을 위한 자율주행>

앞에서 설명한 엣지에 대한 정의와 생성 및 처리방법을 이용해 자율주행의 전반적인 과정에 대해 설명하고자 한다. 자율주행의 전반적인 과정들은 엣지의 인식을 통한 생성 및 필요 없는 엣지의 제거, 그리고 같은 엣지 및 노드에 대해서는 통합과정을 통해서 가정환경 내에서 위상학적 구조를 구성하기 위한 과정으로 이루어지게 된다.

위상학적 구조를 구성하고 난 후에는 로봇이 한 노드의 위치에서 다른 노드로 이동을 할 때 경로 형성에서 훨씬 더 효율적이고 각 노드에서 생긴 오차들은 서로 독립적이므로 지도형성시 오차가 커지는 것을 막아주게 된다. 그리고 지도형성시에도 한 노드의 지도형성을 끝내고 다른 노드로 이동해서 지도형성을 하기 때문에 지도형성시에도 훨씬 효율적이다. 위상학적 구조를 구성하기 위한 자율주행 방법은 다음과 같다.

1. 노드 맵핑

(1) 프리-맵핑

이 과정에서 로봇은 기본적으로 벽을 따라 이동한다. 로봇이 벽을 따라 이동할 때 로봇은 엣지를 인식하게 된다. 인식하는 방법은 앞에서 설명하였다. 엣지가 인식이 된 위치에서 계속해서 벽을 따라 이동을 하게 되면 다른 노드로 넘어가 버리게 된다. 그렇게 되면 기본적인 벽-추종(Wall-Following)이 되어 버리게 되고 위상학적 구조를 얻을 수 없다.

엣지가 인식 되었을 때 엣지의 방향에 수직인 방향으로 이동해야 한다. 이 규칙은 타입 A와 타입 B 모두에 적용 된다. 타입 A인 경우에는 로봇의 위치의 오른쪽 위에 존재하게 된다. 그러므로 로봇은 엣지의 방향에 수직인 방향으로 회전을 하며 이동을 해 나가면 된다. 이동 중 전방에 장애물이나 벽에 의해 더 이상 이동하지 못하거나 다시 벽을 따라 이동할 수 있을 경우에는 다시 벽을 따라서 이동을 하면 된다. 그렇지만 타입 B의 경우 타입 A와 같은 방법으로 이동을 하게 되면 다른 노드로 넘어가게 된다. 타입 B의 경우에는 먼저 멈춰서 엣지의 방향에 수직인 방향으로 회전 후 이동하다가 벽을 따라 이동할 수 있을 때 다시 벽을 따라 이동해 나가야 한다. 벽을 따라 이동하게 되면 로봇은 엣지를 따라 다른 노드로 넘어가게 되지만 이와 같이 움직이면 로봇은 프리-맵핑이 끝나기 전에는 다른 노드로 넘어가지 않는다. 프리-맵핑이 끝나고 난 후에는 로봇은 후보(Candidate) 엣지의 개수와 엣지의 Starting Position의 위치, 노드의 전반적인 크기를 알 수 있게 된다.

삭제

(2) 풀-맵핑(Full-Mapping)

풀-맵핑은 노드의 전 영역에 대해 지도형성을 하는 과정이다. 본 발명에서는 지그 재그(Zig-Zag) 알고리즘을 사용하였다. 그렇지만 지그 재그 알고리즘은 전 영역을 커버하기에는 약간은 비효율적인 알고리즘이다. 노드 중간 중간에 장애물들이 존재할 수 있기 때문이다. 풀-맵핑 과정에서 지그 재그 알고리즘 뿐만 아니라 다른 효율적인 커버리지(Coverage) 알고리즘도 사용할 수 있다. 그렇지만 이 과정은 본 발명에서 중요한 주제가 아니므로 더 이상 언급하지 않고자 한다. 다만 좀 더 지그재그 알고리즘을 효율적으로 적용하기 위해서는 그 영역에서 가장 모서리인 점을 찾아서 그 점에서부터 지그 재그 알고리즘을 적용하는 것이 좋다. 그러므로 프리-맵핑 과정에서 각 모서리 점들을 저장해 놓고 프리-맵핑이 끝나고 풀-맵핑을 시작하기 전에 각 모서리 지점들 중에서 가장 적합한 위치를 찾아내 로봇이 그 위치로 이동을 하고 그 곳에서부터 풀-맵핑을 시작한다.

2. 위상학적 지도 형성을 위한 자율주행

(1) 신규 노드로 이동

노드에서 풀-맵핑이 끝난 후에 로봇은 현재의 노드에 아직 조사되지 않은(Unexplored) 엣지가 존재하는지를 확인한다. 만약 아직 조사되지 않은 엣지가 존재하면 로봇은 아직 조사되지 않은 엣지로 이동을 하게 된다. 이때 이동지점은 아직 조사되지 않은 엣지의 시작 지점이고 로봇은 A*알고리즘(어느 시작점에서 끝점까지의 최단 거리를 형성하는 방법을 제시하는 알고리즘으로서 주지관용 기술임)으로 이동하게 된다.

로봇이 엣지의 시작 지점에 도착하면 새로운 노드가 나타날 때까지 엣지를 따라서 이동하게 된다. 엣지를 따라 이동을 할 때 도9(e), 도9(f) 또는 순환적인(Cyclic) 경우인지를 확인해야 한다. 먼저 도10(a)의 순서도 처럼 새로운 노드가 나오는지 아니면 엣지를 따라서 더 이상 이동할 수 없는지를 계속해서 확인하는데 만약 로봇이 엣지를 따라서 더 이상 이동할 수 없을 경우에는 이 엣지는 도9(f)와 같이 한 쪽 끝에 다른 노드가 연결되지 않은 데드-엔드 엣지로 위상학적 지도에서 제거가 된다.

새로운 노드가 나타나면 도10(b)의 순서도 처럼 먼저 도9(e)인 경우인가를 확인한다. 엣지를 따라서 이동 후 새로운 노드가 나타났을 때 그 위치가 엣지의 종료 지점이 되는데, 종료지점의 위치가 직전 노드의 다른 엣지의 시작 지점의 위치와 일

치하게 된다면, 이 경우는 도9(e)의 경우처럼 퓨전(Fusion) 엣지가 되고 두 엣지들은 후보(Candidate) 엣지에서 제거가 되어야 한다. 그리고 도9(e)의 경우가 아니라고 판단이 되었을 경우에는 새로운 노드가 이전에 위상학적 지도에 존재하는 노드인가를 확인해야 한다. 이 경우는 도9(a), (b)의 경우에 나타나게 된다.

본 발명에서 정의한 엣지와 노드의 특성상 노드간에 연결된 엣지가 여러 개 존재할 수 있다. 만약 이전에 나온 노드인가를 확인하지 않을 경우에는 계속해서 새로운 노드로 추가가 되게 된다. 이렇게 되면 노드는 무한정으로 늘어나게 되므로 이전에 나왔던 노드인가를 확인하는 과정이 필요하다. 가정환경 내에서 위상학적 구조를 가지고 있지만 각 노드들은 상대적인 위치를 가지고 있고 이 위치들은 변화가 없으므로 각 노드들은 겹쳐서 존재할 수 없다. 그러므로 상대적인 위치를 통해서 로봇은 이전에 나왔던 노드인가를 확인할 수 있게 된다.

이전에 나왔던 노드가 아닌 것이 판단되면 로봇은 새로운 노드를 위상학적 지도에 추가를 하고, 로봇은 현재의 위치를 (0, 0)로 초기화한 후, 새로운 로컬 그리드 지도를 형성하고, 프리-맵핑 과정부터 다시 시작하게 된다.

(2) 최종 노드로 이동

위상학적 지도를 구성하기 위해서 그래픽적인 구조를 구성하는 방법으로 본 발명에서는 Depth First Search 알고리즘을 사용하였다. 그러므로 아직 조사되지 않은(Unexplored) 엣지가 존재하지 않을 경우에 로봇은 최종 노드(일반적으로 패런트(Parent) 노드라고 함)로 이동을 한다. 이 과정에서 로봇은 최종 노드로 이동하는 엣지를 찾아서 그 엣지의 시작 지점으로 이동하게 된다. 이동 알고리즘은 신규 노드로의 이동 과정에서 사용하였던 알고리즘(A*)을 사용하였다.

최종 노드로 이동 후 로봇은 다시 아직 조사되지 않은(Unexplored) 엣지가 있는지를 확인하고 만약 있다면 신규 노드로의 이동 과정으로 돌아가 다시 새로운 노드를 찾는다. 이 노드에도 아직 조사되지 않은 엣지가 없으면 다시 최종 노드로 이동하게 된다. 최종 노드로 계속 이동 중에 더 이상의 최종 노드가 없으면 지도형성 과정은 끝나게 된다. 지도형성을 시작한 노드를 1번 노드라고 했을 때 로봇이 모든 노드를 검색하고 나서 다시 1번 노드로 돌아와서 더 이상 아직 조사되지 않은 엣지가 없을 때 모든 과정이 끝나게 된다. 전체적인 자율주행 순서도는 도11과 같다.

<가정환경에서 위상학적 지도의 장점>

위상학적 구조를 이용해 가정환경에서 지도를 형성 하였을 경우 다음과 같은 장점이 있다.

1. 한 노드의 위치에서 다른 노드로 이동 할 때 전체 지도를 검색해서 경로를 형성할 필요가 없고, 현 노드에서 가고자하는 노드까지 연결된 노드 인덱스를 찾고 각 노드에서 연결된 노드 인덱스를 가지고 있는 엣지까지의 경로만 형성하면 된다. 이것은 계산적인 면에서 매우 효율적이다. 경로형성에서 전체 지도를 검색할 경우 짧게는 수초에서 수분까지 걸릴 수 있기 때문이다. 그렇지만 연결된 노드 인덱스 검색은 시간이 거의 걸리지 않고 각 노드에서 엣지까지의 경로를 형성하는데 전체 지도를 검색하는 것보다 훨씬 적게 걸린다.
2. 그리고, 지도형성 시에도 한 노드의 지도형성을 끝내고 다른 노드로 이동을 해서 지도형성을 하기 때문에 효율적이다. 보통 일반적인 가정환경에는 벽들과 많은 고정된 장애물들이 존재하는데 여기에 하나의 커버리지(Coverage) 알고리즘이나 익스플로링(Exploring) 알고리즘을 적용하게 되면 매우 복잡하고 비효율적이다. 그에 비해 한 노드를 끝내고 다른 노드로 이동해서 지도 형성을 하게 되면 같은 알고리즘을 적용한다고 해도 훨씬 간단하다.
3. 다음으로, 각 노드에서 생긴 오차들은 서로 독립적이다. 각 노드로 이동을 했을 때마다 각 노드에 해당하는 지도를 사용하기 때문에 각 노드에서 생긴 오차들은 각 노드에 한정적으로 영향을 미칠 수밖에 없다. 이것은 지도형성시 오차가 커지는 것을 막아주게 된다.
4. 마지막으로, 상업적으로 봤을 때 구성된 위상학적 구조가 일반 사람들이 생각하는 공간적 개념과 유사하다는 점이다. 일반 사람들이 생각하는 방과 거실로 구분이 되어 있다는 생각과 유사하게 위상학적 지도를 얻게 되므로 로봇을 사용자가 원하는 방으로 이동시킬 수도 있게 되므로 상업적으로 이용할 영역이 많아지게 된다.

<모의실험 결과>

가정환경에서 위상학적 구조구성을 위한 자율주행 방법을 보이기 위해 도12(a)와 같은 환경에서 모의실험을 먼저 수행하였다. 모의실험 환경을 실제 환경과 유사하기 하기 위해 로봇의 반지름은 210mm, 가정환경의 크기는 8mx12m로 하고 벽의 두께는 100mm로 해서, 도12(a)처럼 축소화 시켜서 모의실험을 수행했다.

모의실험에서는 중간 중간에 고정된 장애물들이 존재하고, 각 방들은 벽이나 고정된 장애물들에 의해 둘러싸여 있으며 방문을 지나치는데 물리적인 문제는 없는 것으로 하였다. 그리고 다용도실 및 화장실과 같은 영역은 가지 못한다고 가정하였다. 도12(a)와 같은 환경은 크게 6개의 노드로 나뉘게 된다.

도12(a)에서 케이스 1은 도9(c)의 경우라고 할 수 있겠다. 기존에 엣지가 존재를 했는데 화분 때문에 엣지의 위치가 조금은 바뀐 경우이다. 이 경우는 벽과 고정된 장애물 사이에 엣지가 존재한다. 케이스 2는 도9(f)에 해당되는 경우이다. 처음에는 케이스 2영역에 엣지가 존재한다고 생각하다가 그 엣지를 통해 다른 노드로 이동하려 할 때 이 엣지에 연결된 다른 노드가 없음을 알게 된다. 이것은 엣지의 정의에 맞지 않게 되는데 이런 엣지를 데드-엔드 엣지라고 말하고 위상학적 지도에서 제거한다. 케이스 3은 도9(e)에서 나타난 경우이다. 이 경우는 로봇은 두 개의 엣지가 존재한다고 처음에는 생각하다가 다른 노드로 넘어가기 위해 이동 할 때 같은 엣지가 존재한다는 것을 알게 된다. 이 두 엣지는 실제 엣지가 아니고 퓨전 엣지라는 것을 알게 되고 제거된다. 전체적인 위상학적 구조는 도12(b)와 같이 된다. 모의실험 결과로 나온 각 노드들의 로컬 그리드 지도정보들은 도13과 같다.

각 노드에 연결된 엣지의 개수는 1번 노드가 4개이고, 5번 노드가 2개이며, 2, 3, 4, 6번 노드가 1개씩이다. 결과에서 케이스 2와 케이스 3은 엣지로 취급되지 않았음을 알 수 있다. 위상학적 구조를 구성하기 위해서 우리는 Depth First Search 방법을 사용하였고 로봇이 이동한 노드 과정은 다음과 같다.

노드 1 →노드 2 →노드 1 →노드 3 →노드 1 →노드 4 →노드 1 →노드

5 → 노드 6 →노드 5 →노드 1

<위상학적 지도 구성을 위한 자율주행 실험 및 결과>

이 실험은 위치인식이 가능한 환경에서 수행되었다(바코드가 있는 바닥재가 깔려있는 환경에서 실험하였다.) 앞에서 가정했던 것처럼 위치인식이 가능한 환경에서 실험이 가능하기 때문이다. 만약 위치인식이 제대로 되지 않는다면 정확한 지도를 얻을 수 없다. 실험은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 노드들을 형성시키고 위상학적 지도를 얻을 수 있는가를 확인하였고 두 번째는 엣지의 특성상 다양한 경우가 나오는데 앞에서 설명한대로 엣지들을 다룰 수 있는지에 대한 검증을 위한 실험이다.

1. 위상학적 지도 구성

먼저 간단히 3개의 노드로 구성이 되어 있는 환경에서 실험을 하였다. 실험환경은 그림 도14(a)와 같고 이 환경에서 위상학적 구조는 도14(b)와 같이 구성이 된다. 이 환경에서 로봇은 먼저 첫 번째 노드를 지도형성을 하며 지도형성이 끝나고 나면 아직 조사되지 않은(Unexplored) 엣지가 하나가 존재하는 것을 알기 때문에 그 엣지를 통해 새로운 노드로 이동한다. 새로운 노드가 인식되면 두 번째 노드를 등록하고 지도형성을 한다.

두 번째 노드의 지도형성 과정이 끝나고 나면 두 번째 노드에는 아직 조사되지 않은 엣지 1개와 조사된(Explored) 엣지 1개가 존재하는 것을 알게 되고 아직 조사되지 않은 엣지를 통해 새로운 노드로 이동한다. 그리고 나서, 세 번째 노드를 지도형성 한다. 세 번째 노드까지 지도형성이 끝나고 나면 더 이상 아직 조사되지 않은 엣지가 없다는 것을 알게 되며 상위 노드로 이동을 하면서 계속 아직 조사되지 않은 엣지를 검색하는데 1번 노드에 도달할 때까지 아직 조사되지 않은 엣지가 더 이상 존재하지 않으므로 지도형성 과정은 끝나게 된다. 이 지도형성 과정에서 얻어진 각 노드의 로컬 그리드 지도는 도 15와 같다.

(1) 엣지 케이스에 대한 실험

도9에서 다양한 엣지 케이스에 대해 설명하였다.

앞에서 설명한 각 케이스에 대한 처리방법에 대해 실험적으로 검증하고자 한다.

<케이스 1>

도9(a)에서 설명하였듯이 가정환경에는 방과 방 사이를 연결하는 엣지들이 도16(a)처럼 여러 개 존재할 수 있다. 도16(a)는 두 영역 사이에서 서로의 영역으로 넘어갈 수 있는 문과 같은 영역이 두 개가 있는데 이와 같은 경우의 위상학적 구조는 도16(b)와 같이 된다. 이 경우는 위상학적 구조에서 순환고리(Cyclic loop)가 되어버린다. 즉 같은 노드라는 것을 인식하

지 못하면 무한 순환에 빠져버리게 된다. 여기서도 먼저 첫 번째 노드를 지도형성을 하고 나면 아직 조사되지 않은 조사되지 않은 옛지가 두 개 존재한다는 것을 알 수 있다. 로봇은 아직 조사되지 않은 옛지중 하나를 통해서 2번 노드로 넘어간다. 2번 노드를 지도형성을 하고 나면 조사된(Explored) 옛지와 아직 조사되지 않은(Unexplored) 옛지가 각각 한 개씩 존재한다고 생각한다. 2번 노드 맵핑이 끝나고 난 후 아직 조사되지 않은(Unexplored) 옛지를 통해 다시 1번 노드로 넘어간다. 그런데 로봇은 1번 노드가 아닌 새로운 노드로 간다고 인식하게 된다. 즉 이 노드가 처음에 왔었던 1번 노드라는 것을 알지 못한다면 3번 노드로 추가하게 되고 계속해서 무한순환에 빠지게 되는 것이다. 그렇지만 앞에서 설명하였듯이 각 노드들은 독립된 공간들을 가지고 있다는 성질을 가지고 있다. 그리고 옛지들은 각각 연결된 노드들의 상대적 위치의 값을 가지고 있다. 그러므로 로봇이 1번 노드로 왔을 때 로봇은 새로운 노드가 아니라 예전에 지도형성을 했었던 1번 노드라는 것을 알게 되고 새로운 노드를 추가하지 않는다. 그리고 현재의 옛지가 1번 노드에서 어느 옛지와 같은지를 검색해서 정보를 갱신한다. 그 후 Depth First Search 방법에 따라 다음 옛지나 노드로 이동하게 된다. 실험 후 각 노드들의 로컬 그리드 지도는 도17과 같다.

삭제

<케이스 2>

도18(a)은 도17과 같이 옛지가 2개 있는 경우이다. 도18(a)처럼 원래는 옛지가 한 개였지만 사이에 장애물이 놓여 있어서 옛지가 2개인 경우로 바뀌게 된 것이다. 앞에서 설명했듯이 옛지가 1개에서 2개로 늘어나도 2개중 어느 옛지로 이동을 하더라도 다른 노드로 이동하는데 문제가 없다. 위상학적 구조는 도18(b)과 같은데 이 구조는 앞에서 설명한 케이스 1과 같은 구조이다. 지도형성 방법도 앞에서 설명한 케이스 1 경우와 같다. 실험 결과로 얻어진 각 노드의 로컬 그리드 지도는 도 19과 같다. 로컬 그리드 지도를 보면 장애물에 의해 옛지가 2개가 된 것을 알 수 있다.

삭제

<케이스 3>

케이스 2의 경우처럼 옛지 사이에 장애물이 놓여 있는 경우지만 로봇은 옛지가 하나라고 인식하는 경우이다. 이 경우에 기존의 옛지의 위치가 약간의 변동이 있다는 것 외에는 변화가 없다. 그러므로 인식된 옛지로 로봇은 이동하게 된다.

<케이스 4>

케이스4는 도20(a)에서 설명했던 것처럼 로봇이 장애물에 의해 막혀서 로봇이 다른 노드로 이동하지 못하는 경우이다. 도 20(b)에서는 노드가 2개가 존재하고 노드 사이에는 연결하는 통로가 하나가 있지만, 그 통로 사이에 장애물이 놓여 있어서 로봇은 노드 사이를 건너갈 수 없다. 즉 옛지가 존재했었는데 장애물에 가로막혀서 옛지가 사라져 버린 것이다. 이 경우에는 로봇이 지도형성을 해야 할 영역이 남아 있지만 로봇은 더 이상 지도형성을 하지 않고 노드가 한 개 밖에 없다고 생각하게 된다. 도19(b)처럼 장애물과 벽 사이에 조그마한 공간이 있지만 너무 좁아서 로봇이 그 공간을 지나갈 수 없게 된다. 위에서 지도 형성시에 로봇이 장애물에 막혀 다른 영역으로 이동 못하는 경우는 없어야 한다고 가정했기 때문에 이와 같은 경우는 지도 형성시 제외되어야 한다.

삭제

<케이스 5(퓨전 옛지)>

케이스 5와 케이스 6은 옛지가 생길 수 있는 경우 중에서 매우 특이한 경우이다. 먼저 케이스 5인 경우에는 도21(a)처럼 옛지가 존재하지 않지만 중간에 장애물에 의해서 옛지가 존재하는 것처럼 여겨지는 경우이다. 로봇이 벽을 따라 이동을 하다가 벽과 장애물, 또는 장애물과 장애물 사이에 옛지가 존재한다고 생각하지만 사실상 이것은 옛지가 아니다. 이 옛지를 퓨전 옛지라고 정의하고자 한다. 퓨전 옛지는 항상 쌍으로 존재한다는 특징이 있다. 옛지의 성질 중에 옛지는 항상 다른 노드가 연결이 되어야 하는데 퓨전 옛지들은 양 끝에 같은 노드들이 연결되어 있다. 로봇은 이 옛지를 통해서 새로운 노드로 이동을 하려 하지만 새로운 노드가 나오지 않고 현재의 자신의 있는 노드라는 것을 인식하게 된다. 퓨전 옛지가 쌍으로 존재하는데 서로의 시작 지점과 종료 지점이 바뀌어 있다는 특징이 있다. 퓨전 옛지라는 것이 인식되면 두 옛지를 위상학적 구조에서 제거한다. 그러므로 도21(a)인 경우에는 노드가 하나만 존재하게 되고 그 결과는 도21(b)과 같다.

삭제

<케이스 6(데드-엔드 옛지)>

케이스 6은 도22(a)와 같은 경우이다. 이 경우는 데드-엔드 엣지라고 이야기 할 수 있다. 도22(a)처럼 한 개의 노드가 있고 그 노드에는 막다른 엣지가 한 개 존재한다. 이 엣지는 다른 노드와 연결이 되지 않고 이 노드에만 연결이 되어 있는 엣지이다. 위에서 설명한 바와 같이, 양쪽 끝에 노드가 연결되지 않으면 엣지가 아니다. 로봇은 노드 맵핑을 끝내고 다른 노드로 이동하기 위해서 데드-엔드 엣지로 이동하고 엣지를 따라 새로운 노드로 넘어가려 하는데 로봇은 이 엣지가 막혀 있는 데드-엔드 엣지라는 것을 알게 되고 이 엣지를 위상학적 구조에서 제거 한다. 결국 도22(a)은 1개의 노드를 가지고 연결된 엣지는 없다는 것을 알 수 있다. 실험 결과 얻어진 로컬 그리드 지도는 도22(b)과 같다.

<두 노드와 하나의 데드-엔드 엣지>

앞에서 케이스 6에 대한 실험을 했지만 좀 더 명확한 결과를 보여주기 위해 2개의 노드가 존재하고 하나의 데드-엔드 엣지가 있을 때 로봇이 어떻게 움직이고 Dead-End 엣지를 처리하는지에 대해 좀 더 설명하고자 한다. 도23(a)은 노드 2개와 2개의 노드를 연결하는 엣지, 그리고 첫번째 노드에 연결된 데드-엔드 엣지가 있다. 이런 경우의 위상학적 구조는 도23(b)과 같이 구성된다. 로봇은 첫 번째 노드 맵핑 후 엣지가 두 개 있다고 인식을 하고 그 중에서 첫 번째 엣지를 통해서 두번째 노드로 넘어간다. 두번째 노드 맵핑을 하고 나면 아직 조사되지 않은 엣지가 없는 것을 알게 되고 최종 노드인 첫 번째 노드로 넘어온다. 첫 번째 노드에서 다시 아직 조사되지 않은 엣지인 두 번째 엣지로 이동해서 새로운 노드로 넘어가려 하지만 두 번째 엣지는 데드-엔드 엣지로 다른 노드로 연결되지 않았다. 이 엣지를 위상학적 구조에서 제거하게 된다. 실험 후 얻어진 로컬 그리드 지도는 도24과 같다.

앞에서 설명한 과정을 통해 로봇이 맵핑을 하고난 후에는 구성된 위상학적 지도를 가지고 효율적으로 움직일 수 있다. 어느 노드에 어느 위치에 있는지도 알 수 있게 되므로 이동시에도 위상학적 지도를 이용할 수 있게 된다.

발명의 효과

본 발명에서는 새로운 노드와 엣지에 대해 정의를 함으로써 가정환경 내에서 적합한 위상학적 구조를 구성할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 보통의 가정환경이 벽이나 고정된 장애물로 둘러싸여 있고 한 영역에서 다른 영역으로 이동할 때 문과 같은 지역을 지나쳐 가야 한다는 특징을 살려서 이에 적합한 노드와 엣지를 정의한 것이다. 이 정의에 의해서 엣지가 아닌 영역들이 엣지로 정의 될 수 있는데 이에 대한 엣지의 특성과 성질을 명확하게 구분, 정의함으로써 가정환경에 적합한 위상학적 구조를 구성할 수 있도록 하였다.

위상학적 구조를 이용해 자율주행을 하게 되면 한 영역의 지도형성을 끝내고 다른 영역으로 넘어가므로 좀 더 쉽게 커버리지 알고리즘이나 지도형성 알고리즘을 적용할 수 있고 또 각 노드에서 생긴 오차들은 서로 독립적이므로 오차가 계속적으로 증가하는 것을 막을 수 있다. 또한, 지도형성 과정이 끝난 후 로봇이 이동하기 위해 경로를 형성할 때 꼭 지나쳐야 하는 부분들, 즉 엣지에 대한 정보들을 가지고 있으므로 계산속도 면에서도 훨씬 유리하게 된다.

또한 본 발명에 의해 구성된 위상학적 구조는 일반 사람들이 생각하는 공간적 개념과 유사해 로봇을 사용자가 원하는 방향으로 이동시킬 수도 있게 되므로 상업적으로 이용할 영역이 많아지게 된다.

도면의 간단한 설명

도1은 제1의 종래기술에 따른 위상학적 구조를 도시함

도2는 제2의 종래기술에 따른 위상학적 모델을 도시함

도3은 제3의 종래기술에 따른 위상학적 지도를 도시함

도4는 일반적인 가정환경(a)과, 가정환경에서의 위상학적 지도(b)을 도시함

도5는 본 발명에서 사용되는 엣지의 정의(a)와, 가정환경에서의 엣지 영역(b)를 도시함

도6은 본 발명에서, 엣지의 경우(a)와, 엣지가 될 수 없는 경우(b)를 도시함

도7은 본 발명에서 적용되는 일반적인 가정환경(a)과, 가정환경에서의 노드 영역(b)을 도시함

도8은 본 발명에서, 엣지를 인식하는 경우의 두 가지 타입(a)(b)를 도시함

도9는 본 발명에서, 엣지가 생성되는 경우들을 도시함

도10은 본 발명에서, 새로운 노드로 이동하는 순서도(a)와, 새로운 노드에서의 순서도(b)를 도시함

도11은 본 발명에서, 이동로봇의 주행에 대한 전체적인 순서도를 도시함

도12는 본 발명을 제1 모의 실험에서의 실내환경(a)과, 이 환경에서의 \circ 우위상학적 구조(b)를 도시함

도13은 본 발명의 제1 모의 실험의 로컬 그리드 지도에서 노드1(a), 노드2(b), 노드3(c), 노드4(d), 노드5(e), 노드6(f)을 도시함

도14는 본 발명의 제2 모의 실험에서의 실내환경(a)과, 이 환경에서의 위상학적 Structure(b)를 도시함

도15는 본 발명의 제2 모의 실험의 노드1(a), 노드2(b), 노드3(c)을 도시함

도16은 본 발명에서, 엣지 케이스1에 대한 실험을 위한 실내환경(a)과, 이 환경에서의 위상학적 구조(b)를 도시함

도17은 본 발명에서, 엣지 케이스1의 실험환경에서의 로컬 그리드 지도의 노드1(a), 노드2(b)를 도시함

도18은 본 발명에서, 엣지 케이스2에 대한 실험을 위한 실내환경(a)과, 이 환경에서의 위상학적 구조(b)를 도시함

도19은 본 발명에서, 엣지 케이스2의 실험환경에서의 로컬 그리드 지도의 노드1(a), 노드2(b)를 도시함

도20은 본 발명에서, 엣지 케이스4에 대한 실험을 위한 실내환경(a)과, 이 환경에서의 로컬 그리드 지도(b)를 도시함

도21은 본 발명에서, 엣지 케이스5에 대한 실험을 위한 실내환경(a)과, 이 환경에서의 로컬 그리드 지도(b)를 도시함

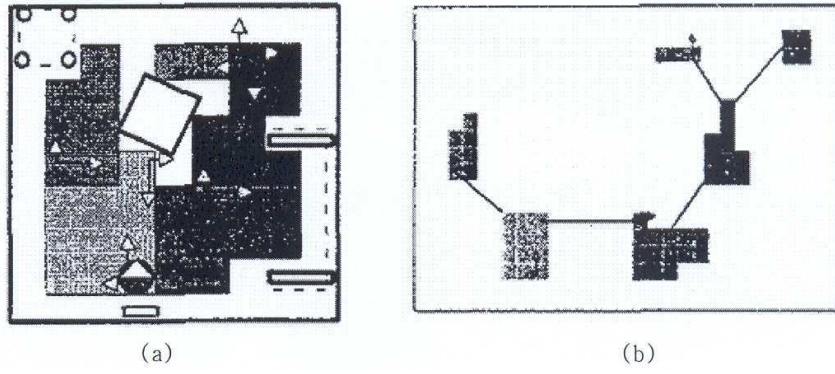
도22는 본 발명에서, 엣지 케이스6에 대한 실험을 위한 실내환경(a)과, 이 환경에서의 로컬 그리드 지도(b)를 도시함

도23은 본 발명에서, 2개의 노드와 하나의 Dead-End 엣지가 있는 실내환경(a)과, 이 환경에서의 위상학적 구조(b)를 도시함

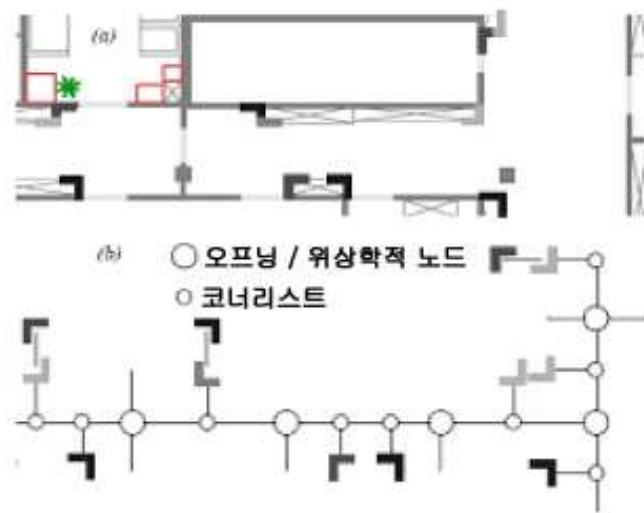
도24는 본 발명에서, 도23에서의 로컬 그리드 지도의 노드1(a), 노드2(b)를 도시함

도면

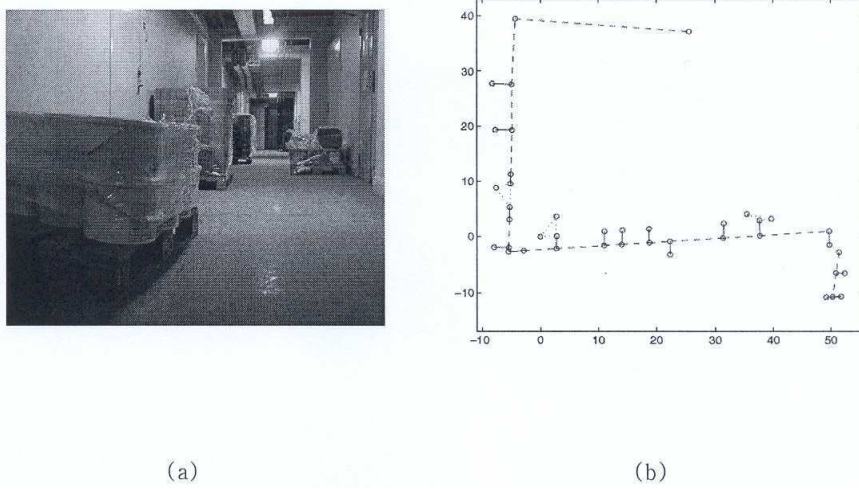
도면1



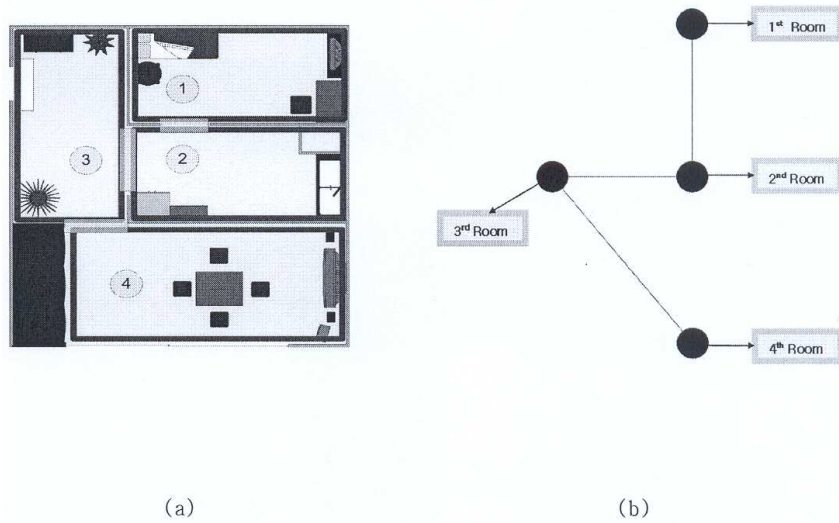
도면2



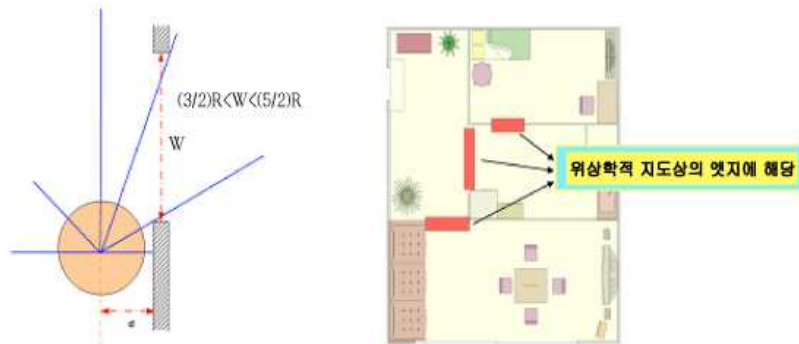
도면3



도면4



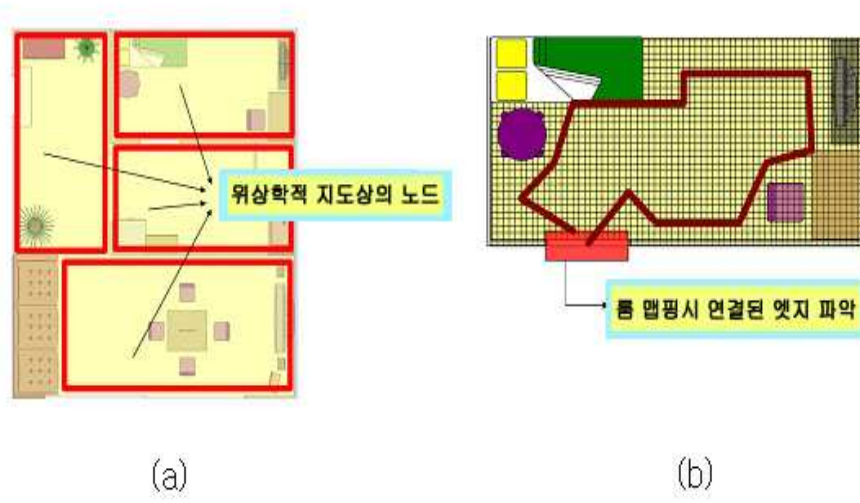
도면5



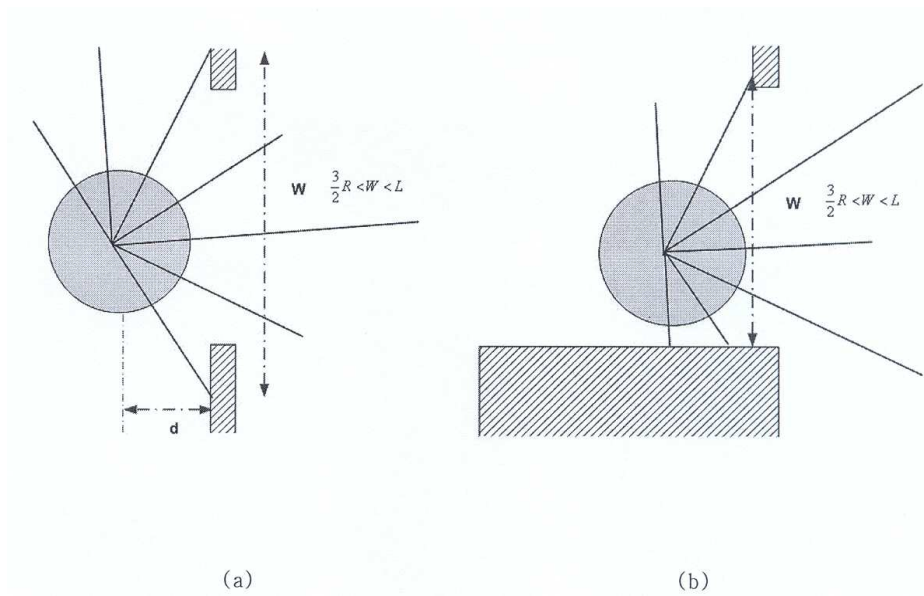
도면6



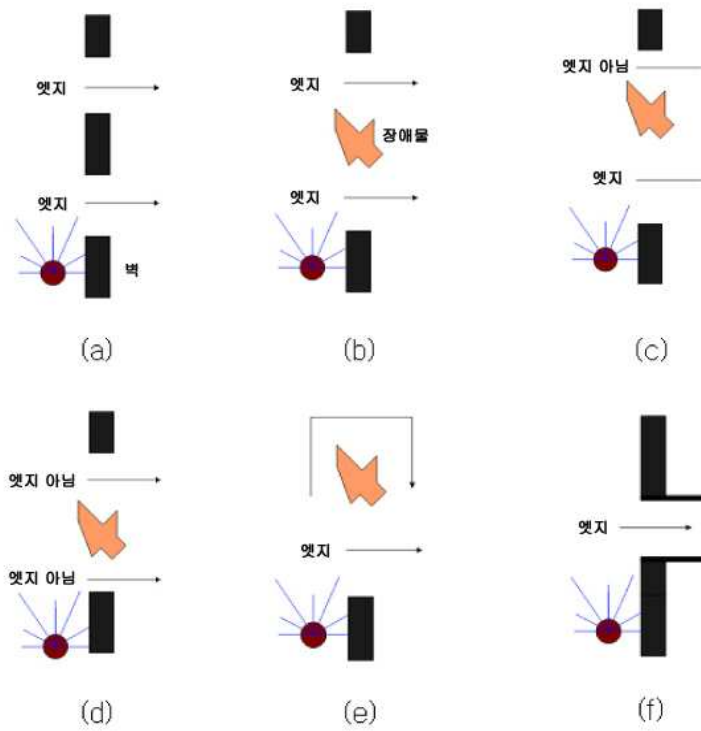
도면7



도면8



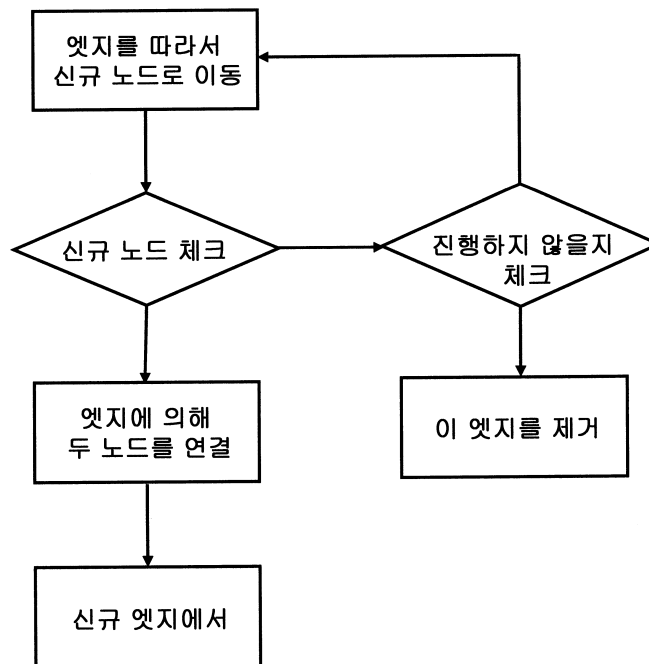
도면9



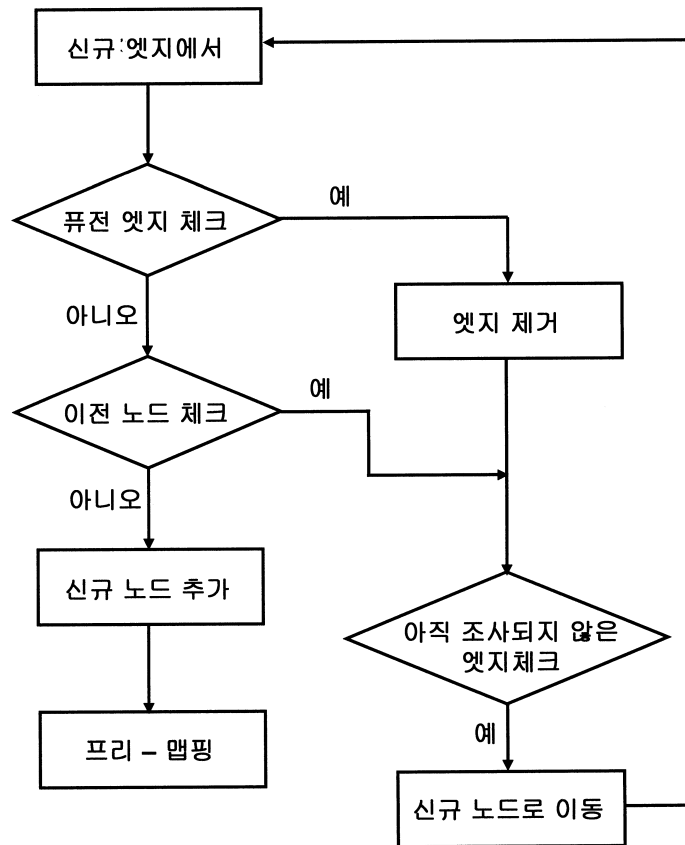
도면10

삭제

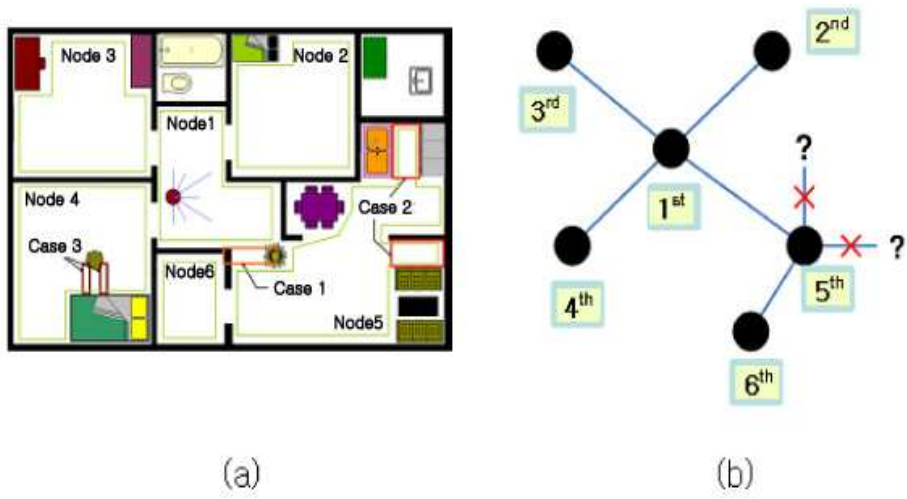
도면10a



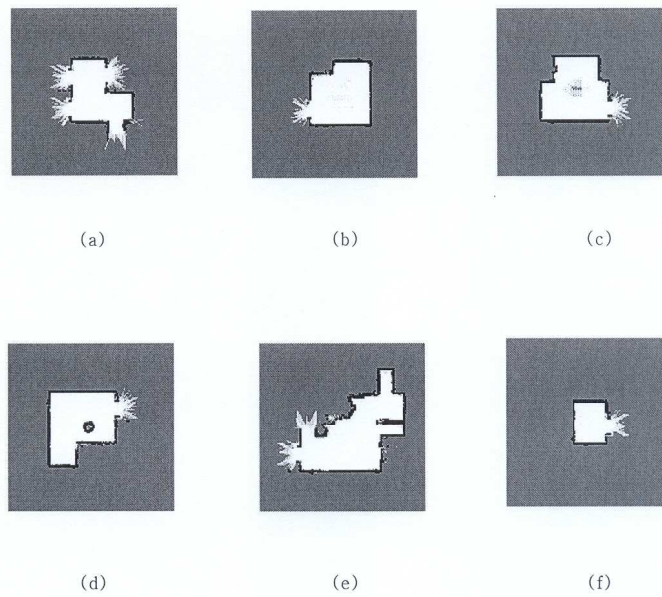
도면10b



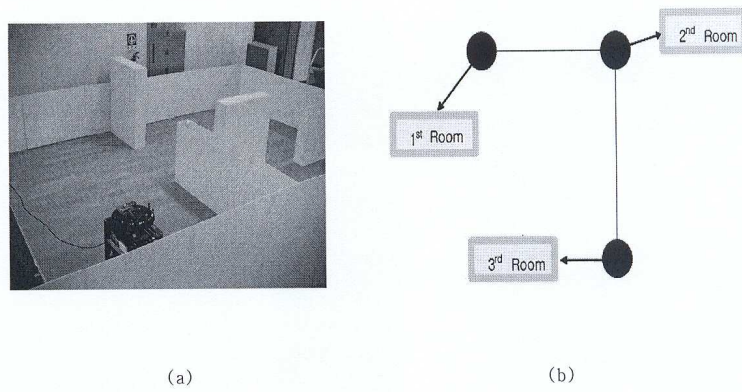
도면12



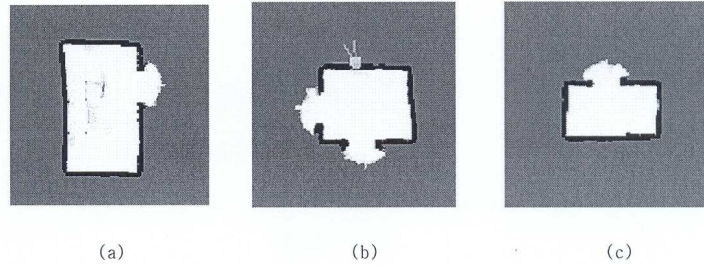
도면13



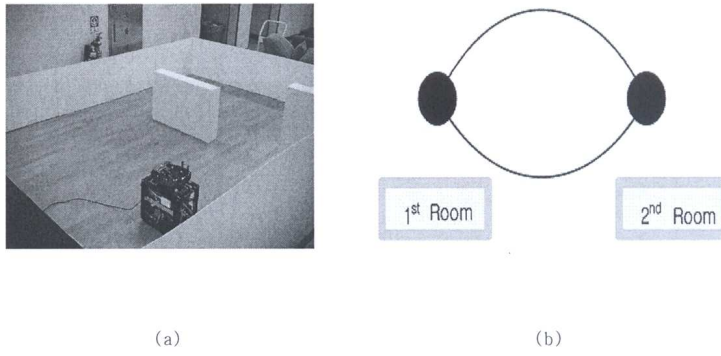
도면14



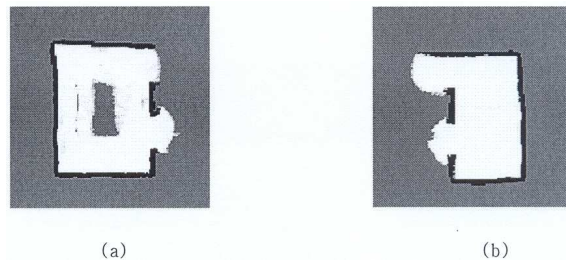
도면15



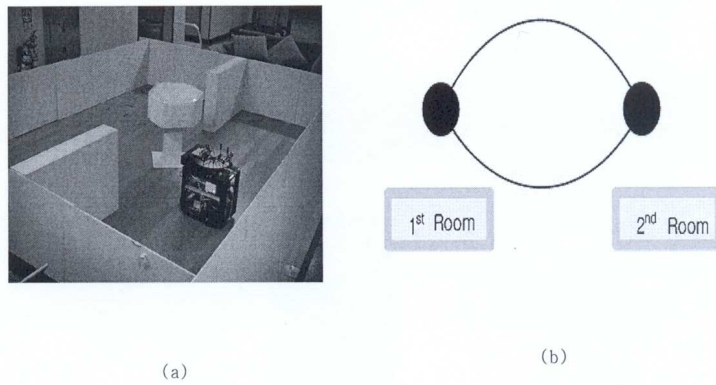
도면16



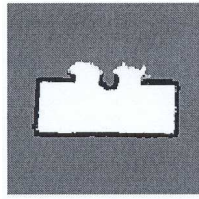
도면17



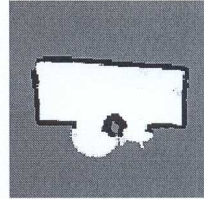
도면18



도면19



(a)

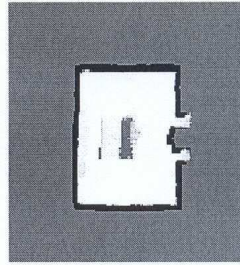


(b)

도면20

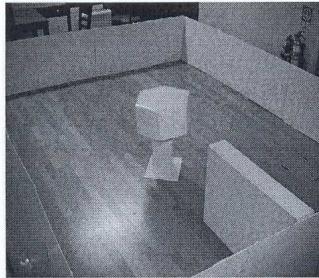


(a)

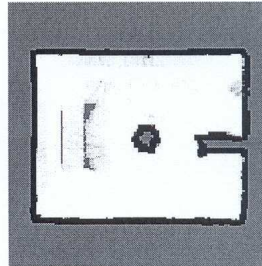


(b)

도면21



(a)

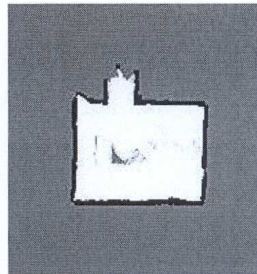


(b)

도면22

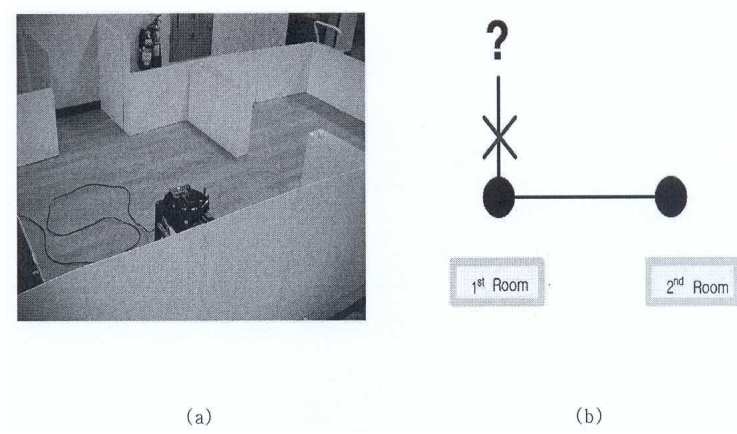


(a)



(b)

도면23



도면24

