

# 가정환경에서의 분류된 지역정보를 통한 계층적 시맨틱 지도 작성

## Building of a Hierarchical Semantic Map with Classified Area Information in Home Environments

박 중 태<sup>1</sup>, 송 재 복<sup>†</sup>

Joong-Tae Park<sup>1</sup>, Jae-Bok Song<sup>†</sup>

**Abstract** This paper describes hierarchical semantic map building using the classified area information in home environments. The hierarchical semantic map consists of a grid, CAIG (Classified Area Information in Grid), and topological map. The grid and CAIG maps are used for navigation and motion selection, respectively. The topological map provides the intuitive information on the environment, which can be used for the communication between robots and users. The proposed semantic map building algorithm can greatly improve the capabilities of a mobile robot in various domains, including localization, path-planning and HRI (Human-Robot Interaction). In the home environment, a door can be used to divide an area into various sections, such as a room, a kitchen, and so on. Therefore, we used not only the grid map of the home environment, but also the door information as a main clue to classify the area and to build the hierarchical semantic map. The proposed method was verified through various experiments and it was found that the algorithm guarantees autonomous map building in the home environment.

**Keywords:** Semantic map, Area classification, Topological map, Mobile robot

### 1. 서론

환경에 대한 지도는 위치추정, 경로계획 등 다양한 작업에 사용되므로, 이동로봇의 자율주행에 없어서는 안될 필수 요소이다. 로봇에 사용되는 지도는 크게 위상지도, 특징지도, 격자지도로 구분될 수 있다. 그 중 환경을 정확하고 직관적으로 나타낼 수 있는 장점을 가진 격자지도가 주행 관련 연구에 주로 사용되고 있다. 이러한 이유로 최근까지도 정확한 격자지도를 작성할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 기존의 지도작성 방법<sup>[1-3]</sup> 들은 모두 장애물의 유무만을 나타낸 격자지도 작성에 초점이 맞춰져

있었다. 다양한 환경정보가 포함된 시맨틱 지도의 작성 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 아직은 초기단계에 머물러 있다.

[4]에서는 복도, 문, 사무실 등에서 추출한 레이저 데이터의 기하학적 특징을 학습시켜 공간을 분류하는 방법이 제안되었다. 하지만 지도작성에 앞서 방대한 양의 학습 데이터를 수집해야 하는 단점과 함께, 가정환경과 같이 환경의 유사도가 매우 상이한 공간에서는 좋은 성능을 낼 수 없다는 단점을 가지고 있다. 센서 융합을 통해 다양한 환경정보를 습득하고, 이를 통해 시맨틱 지도를 로봇 스스로 작성할 수 있는 방법이 제안되었다<sup>[5]</sup>. 레이저 스캐너와 비전센서를 사용하여 문, 강인한 비전특징, 추락지역 등을 탐지하고 이를 통해 로봇이 보다 안정하게 주행할 수 있도록 하였다. 하지만 단순히 탐지된 정보를 지도에 등록하고, 이를 주행용도 밖에는 사용하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이

Received : Jan. 30. 2012; Reviewed : Feb. 22. 2012; Accepted : Nov. 01. 2012  
※ 본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21C 프론티어 연구 개발 사업 및 융복합형 로봇전문인력 양성사업의 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup> Mechatronics, Korea University (geullu @ korea.ac.kr)

<sup>†</sup> Corresponding author: Mechanical Engineering, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul, Korea (jbsong@korea.ac.kr)

외에도 많은 시맨틱 지도를 작성하는 많은 방법들이 제안되었다<sup>6,7)</sup>.

본 논문에서는 격자지도와, 탐지된 문 정보를 이용하여 공간을 여러 지역 (방, 거실, 문, 문 주변지역)으로 분류하는 방법을 기술하였다. 또한 분류된 지역정보를 이용한 계층적 시맨틱 지도작성 방법을 제안하였다. 계층적 시맨틱 지도는 격자지도, 지역 분류정보를 포함한 CAIG (Classified Area Information in Grid) 지도, 위상지도로 구성되어 있다. 이렇게 구성된 시맨틱 지도를 통해 로봇은 기존의 격자지도만을 사용할 때보다 효율적이고 안전하게 자율주행을 수행할 수 있다. 예를 들어, 문 주변 정보를 통해 로봇은 문 주변지역에서 이동속도를 낮춤으로써 이동 장애물과의 충돌 가능성을 낮출 수 있다. 또한 작성된 위상지도를 통해 사용자와 로봇간의 의사소통을 원활하게 할 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지역 분류를 통한 계층적 시맨틱 지도 작성에 대해 설명하며 3장에서는 실험에 대해 기술하였다. 4장에서는 결론을 제시한다.

## 2. 지역 분류를 통한 계층적 시맨틱 지도 작성

그림 1에는 환경에 대한 CAD지도가 나타나 있다. 사람은 그림 1에 표현된 지도를 보고 네 개의 방과 문 그리고 하나의 거실로 이루어진 공간임을 직관적으로 알 수 있지만, 로봇은 이를 판단하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 총 네 단계에 걸쳐 로봇 스스로 지역을 분류하도록 하였다. 제안된 지역 분류방법은, 하나의 방에는 하나의 문만이 존재한다는 제약사항을 가지고 있다. 이에 대해 단계별로 설명하도록 한다.

단계 1은 그림 1과 같은 환경에 대한 격자지도를 작성하며 동시에 환경에 존재하는 문을 탐지하여 지도에 등록하는 것이다. 문 탐지 방법은 [8]에서 제안된

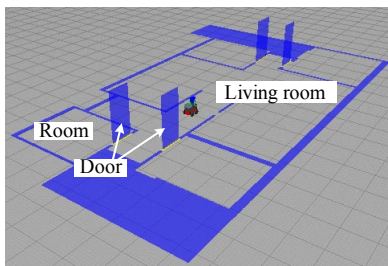


Fig. 1. CAD map of the home environment

방법을 사용하였다.

단계 2는 앞선 방법을 통해 작성된 격자지도와 동일한 크기의 초기 CAIG 지도를 생성한다. 격자지도에서 0.9 이상의 점유확률을 가진 격자를 CAIG 지도의 격자에는 1로, 0.1 이하의 점유확률 값을 가진 격자는 0을 부여한다. 마찬가지로 0.5의 확률을 가진 격자는 2를 부여한다. 다음 과정은 탐지된 문의 정보를 CAIG 지도에 표시하는 것이다. 이에 대한 내용을 그림 2를 통해 설명하도록 한다.

그림 2(a)는 그림 1의 CAD 지도의 일부분을 나타낸다. 그림 2(b)는 그림 2(a)에 대한 CAIG 지도이며, 여기에 탐지된 문 위치와 폭을 이용하여, 문에 해당하는 격자에 3을 부여한다. 문에 해당하는 격자는 그림 2(c)에 빨간색 빗금 사각형으로 표시되었다. 파란색 점선 원은 문 폭만큼의 거리를 지름으로 하여 생성한 것이며, 이는 문 주변 지역을 나타낸다. 이후 문 주변지

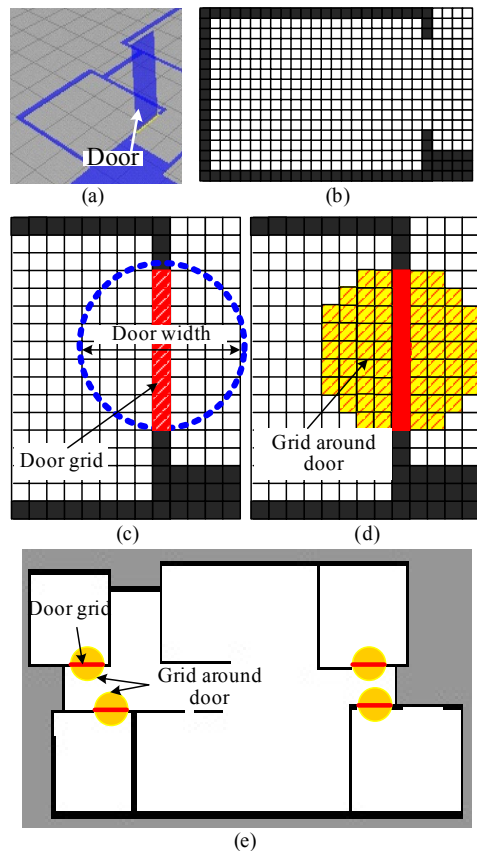


Fig. 2. Step 2 of area classification: (a)-(b) part of CAD map and its CAIG, (c) door grids, (d) grids around door, and (e) results of step 2 of area classification.

역에 해당하는 격자에 4를 부여하며, 그 모습이 그림 2(d)에 빗금 사각형 형태로 나타나 있다. 그림 2(e)에는 문과 문 주변지역 정보가 포함된 CAIG 지도가 나타나 있다.

지역분류 방법의 단계 3는 CAIG 지도에서 0이 부여된 격자들을 wavefront 알고리즘<sup>6)</sup>의 개념을 이용하여 군집화하는 과정이다. 따라서 wavefront 알고리즘에 대해 간단히 설명한 후, 이를 이용한 군집화 방법에 대해 설명하도록 하겠다. wavefront 알고리즘은 격자와 격자 사이의 거리를 맨하탄 거리로 계산하며, 상하좌우 4방향으로 확장하며 격자에 대한 비용을 갱신해 나가는 방법이다. 그림 3은 wavefront 알고리즘을 사용하여 3번에 걸쳐 확장된 모습을 나타낸다. 시작점은 0의 비용을 가지며, 시작점을 제외한 모든 격자에 무한대의 큰 초기값을 부여한다. 확장(expansion)이란,  $n$ 의 비용을 갖는 어떤 격자를 중심으로 하여 상하좌우에 있는 이웃 격자에 새로운 비용  $n+1$ 을 부여함을 의미한다. 새 비용이 각 격자가 현재 가지고 있는 비용보다 작으면 새 비용으로 갱신되며, 그렇지 않으면 현재의 비용을 유지하게 된다. 그리고 비용이 갱신된 격자들을 중심으로 순차적으로 확장을 반복 수행한다.

앞서 설명한 wavefront 알고리즘들은 본래 격자간의 거리를 계산하여 시작점부터 목적점까지 최단경로를 추출하기 위해 제안된 방법이다. 하지만 본 연구에서는 군집화가 목적이므로, 이에 맞게 wavefront 알고리즘을 약간 수정하였는데, 이를 그림 4와 5를 통해 설명하도록 한다.

그림 4(a)는 그림 2(e)에 나타난 CAIG 지도의 일부를 보여준다. 본 연구에서 군집화 대상은 CAIG 지도에서 0이 할당된 격자들이다. 따라서 그림 4(a)에서 빨간 점선 사각형으로 표시된 것과 같이 CAIG 내의 모든 격자를 하나씩 검색한다. 검색 중 0이 할당된 격자

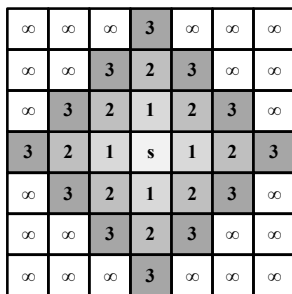


Fig. 3. Example of wavefront algorithm

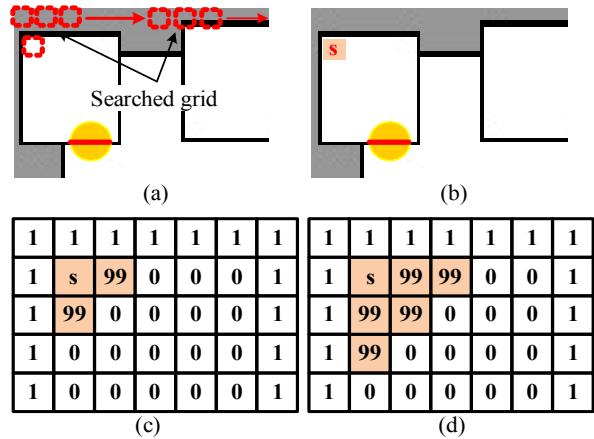


Fig. 4. Clustering procedure with modified wavefront algorithm

를 찾으면 검색 작업을 멈추고, 검색을 통해 찾은 격자를 시작점으로 하여 wavefront 알고리즘을 수행한다. 그림 4(b)에서 s로 표시된 부분이 그림 4(a)의 검색 과정을 통해 찾은 격자이다.

그림 4(c)는 시작점을 기준으로 상하좌우 격자 중에서 0이 할당된 부분에만 군집화 값(group value)  $c$ 를 부여한 것이며, 본 연구에선 초기  $c$ 을 99로 설정하였다. 이후 그림 4(d)와 같이  $c$ 로 갱신된 격자들을 중심으로 하여 순차적으로 확장작업을 수행한다. 이와 같은 과정을 거치면 그림 5(a)에서 빗금 사각형으로 표시된 부분의 격자들에는 모두 99가 할당된다. 군집화된 격자의 상하좌우 주변에 더 이상 0이 할당된 격자가 존재하지 않는다면, 군집화 과정이 완료된다. 이때  $c$ 의 값을 1만큼 증가시킨다. 이후 다시 0이 할당된 새로운 격자를 찾기 위한 검색 작업을 수행한다. 그림 5(b)는 0이 할당된 새로운 격자를 찾은 후, 군집화 과정을 실

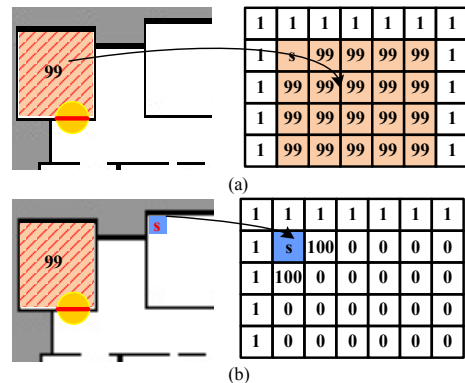


Fig. 5. Clustering procedure with modified wavefront algorithm

행하는 모습이다. 이와 같은 과정을 CAIG 지도에 0이 할당된 격자가 없어질 때까지 반복한다.

그림 6(a)은 CAIG에 0으로 할당된 모든 격자에 대해서 군집화를 수행한 결과와 군집화된 격자들에 각각의 고유한 군집화 값이 할당된 모습을 보여준다. 지역 분류 방법의 단계 4는 그림 6(b)와 같이 영역을 대표하는 노드를 추출하여 노드간의 연관관계를 구하고, 이를 이용하여 군집화된 영역들을 지역별로 구분하는 것이다.

그림 6(b)에 나타난 0부터 4까지의 노드들은 군집화된 영역들의 무게중심을 이용하여 추출하였으며, 다음과 같은 노드집합  $N_{CG}$ 에 저장된다.

$$N_{CG} = \{n_{CG,0}, n_{CG,2}, \dots, n_{CG,m}\} \quad (1)$$

여기서  $n_{CG,i}$ 는 군집화된 영역에서 추출된 노드들의 번호이다. 그림 6(b)에서 5부터 8까지의 노드들은 문에서 추출된 노드이며,  $N_{DG}$ 에 저장된다.

$$N_{DG} = \{n_{DG,m+1}, n_{DG,m+2}, \dots, n_{DG,m+q}\} \quad (2)$$

여기서  $n_{DG,i}$ 는 문에서 추출된 노드들의 번호이며,  $q$ 는 문 노드의 총 개수를 뜻한다. 노드 집합  $N_{CG}$ 와  $N_{DG}$ 에 저장된 각각의 노드들은 자신들이 대표하는 영역에 포함되는 모든 격자들에 대한 정보를 가지고 있다. 이후 노드간의 연관관계를 구하기 위해서 노드 집합  $N_{CG}$ 에 포함된 노드들을 각각 시작점과 도착점으로 설정하여 격자지도상에서의 최단경로를 추출하였다. 예를 들어, 그림 6(b)에서 노드 0을 시작점으로 하여 노드 4까지의 경로를 추출하는 것이다. 이렇게  $N_{CG}$ 에 포함된 모

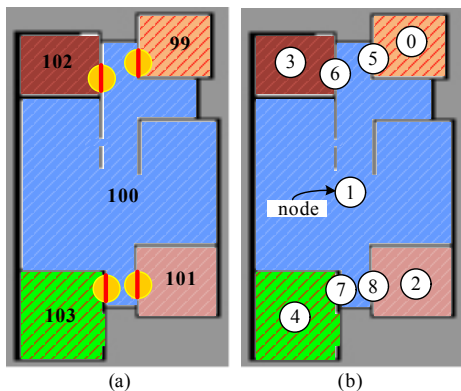


Fig. 6. Clustering result and node extraction from clustered area

든 노드간의 경로(점선으로 표시)를 구한 모습이 그림 7에 나타나 있으며, 노드간의 경로를 에지  $E$  라고 정의하였다.

$$E_{j,k} = \{e_1, e_2, \dots, e_h\} \quad (3)$$

여기서  $j, k$ 는 에지가 연결하는 두 노드의 번호를 뜻하며,  $e_i$ 는 에지를 구성하는 각 격자들의 좌표표,  $h$ 는 격자의 총수를 나타낸다. 이를 통해 우선적으로  $N_{CG}$ 에 포함된 노드간의 연관관계를 표현할 수 있다. 다음은 에지  $E_{j,k}$ 가 어떤 문 노드를 통과하는지 파악하여,  $N_{CG}$ 와  $N_{DG}$ 간의 연관 관계를 구한다. 이를 그림 7의 노드 0과 3을 이용하여 설명하도록 한다.

노드 0에서 3으로 이동하기 위해선 두 개의 문을 통과해야 함을 직관적으로 알 수 있다. 하지만 로봇은 노드 0과 3을 연결하는 에지가 어떤 문을 몇 번 통과하는지를 알 수 없다. 따라서 다음 식을 통해 에지  $E_{0,3}$ 가 어떠한 문을 통과하는지를 구하였다.

$$d_{CE} = n_{DG,l} \quad \text{if } E_{j,k}(i) \in G(n_{DG,l}) \quad (4)$$

where  $i = 1 \dots h, l = m + 1, \dots, m + q$

여기서  $E_{j,k}(i)$ 는 에지  $E_{j,k}$ 를 구성하는 격자  $i$ 를,  $G(n_{DG,l})$ 은 문  $l$ 의 노드가 추출된 격자 집합을,  $d_{CE}$ 는 에지  $E_{j,k}$ 가 통과한 문 노드의 번호를 각각 나타낸다. 위와 같은 과정을  $N_{CG}$  내의 모든 노드에서 반복하면 그림 8과 같은  $N_{CG}$ 와  $N_{DG}$ 간의 연관 관계를 구할 수 있다.

$N_{CG}$ 와  $N_{DG}$ 간의 연관 관계를 구하였다면, 이를 이용하여  $N_{CG}$ 내의 노드들을 방과 거실로 구분할 수 있다. 이를 그림 8의 0번 노드를 기준으로 하여 설명하도록 한다. 노드 0에서 노드 1, 2, 3, 4로 각각 이동할 경우 거쳐야 하는 문 노드는  $\{(5), (5,7), (5,6), (5,8)\}$ 이다. 이를 바탕으로 히스토그램을 작성하면 그림 9와 같다.

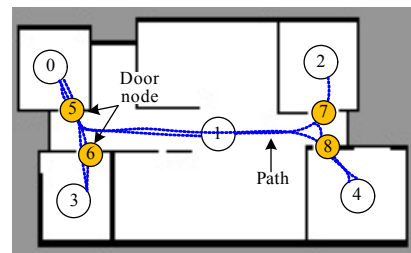


Fig. 7. Generation of relationship between nodes

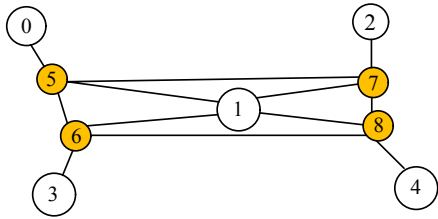


Fig. 8. Relation between nodes

히스토그램에서 빗금 친 사각형은 가장 높은 빈도수를 가진 빈으로서  $M_{histo}$ 로 나타내며, 노드 0에서  $N_{CG}$ 내의 다른 노드로 이동할 경우 동일한 문 노드를 거친 횟수로도 해석된다. 따라서  $M_{histo}$ 는 공간을 방과 거실로 나누기 위한 기준값이 될 수 있다.

만약 노드 0가 대표하는 지역이 방이라면, 어떤 다른 노드로 이동할 경우에는 항상 방과 연결된 동일한 방문을 통과해야 한다. 즉, 노드 0에서  $N_{CG}$ 내에 갈 수 있는 공간은 총 4개 (노드 1, 2, 3, 4)라면, 노드 0가 동일한 문을 통과한 횟수도 4회이어야 한다. 따라서 방과 거실을 분류하기 위해 다음과 같은 식을 정의하였다.

$$\begin{aligned} \text{If } M_{histo} = m, \text{ then it is a room} \\ \text{If } M_{histo} \neq m, \text{ then it is a living room} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $m$ 은  $N_{CG}$  집합에서 자신을 제외한 모든 노드의 총 수를 나타낸다. 예를 들어,  $N_{CG}$  집합에서 노드 0를 제외한 모든 노드의 총 개수는 4이다. 앞선 과정을  $N_{CG}$ 의 모든 노드에서 수행하면 그림 10(a)와 같이 지역별로 분류된 정보를 CAIG 지도에 표시할 수 있다. 또한 분류된 지역정보를 바탕으로 각 지역을 대표하는

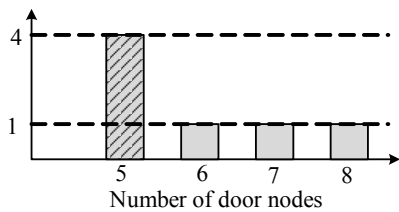


Fig. 9. Example of histogram construction with the total number of door nodes visited by the robot.

Table 1. Grid value by classified area

	Door	Area around door	Room	Living room
Grid value	3	4	5	6

위상지도는 그림 10(b)와 같이 갱신된다. 표 1에는 CAIG 지도를 구성하는 격자에 할당된 값과 그 의미가 정의 되어 있다.

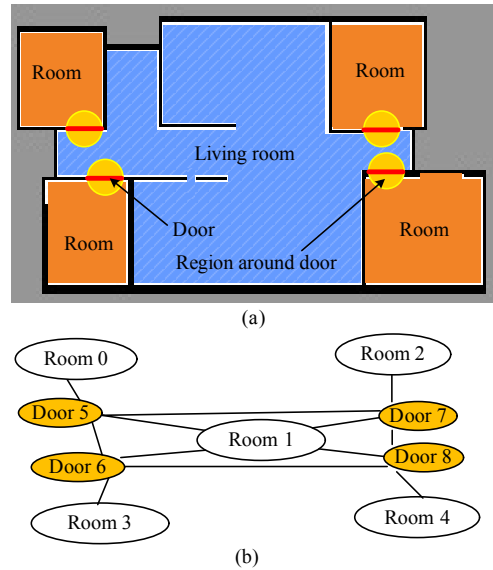


Fig. 10. Result of area classification: (a) CAIG map, and (b) topological map

### 3. 실험

그림 11은 본 연구에서 사용된 차륜구동 방식의 로봇과 하나의 거실과 두 개의 방으로 구성된 실험환경을 보여준다. 실험은 [3], [5]에서 제안된 탐사 및 문 탐지 방법을 통해 환경에 대한 초기 모델링을 수행한 후, 이를 이용하여 지역분류를 실행하는 방식으로 수행되었다. 그림 12는 미지의 환경에서 탐사 및 문 탐지 방법을 통해 초기 환경 모델링을 수행하는 모습을 보여준다.

그림 13은 완성된 격자지도를 이용하여 지역분류를 수행하는 과정을 보여준다. 그림 13(a)은 격자지도와 문 정보를 바탕으로 작성한 CAIG 지도를, 그림 13(b)는 wavefront 알고리즘을 통해 각 영역을 문을 기준으로 균집화한 결과를 보여준다. CAIG지도를 각각의 영역으로 균집화하였다면, 그림 13(c)와 같이 균집화된 각 영역에서 노드를 추출 한 후, 노드 간의 연관관계를 구할 수 있다. 그림 13(d)에는 최종적으로 노드 간의 연관 관계를 통해 지역분류를 수행한 결과를 보여준다.

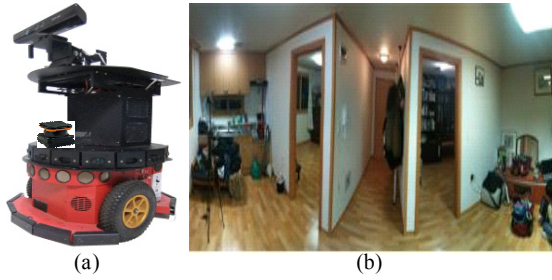


Fig. 11. Mobile robot platform and experimental environment

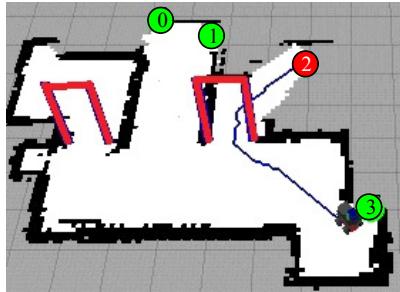


Fig. 12. Procedure of initial environmental modeling

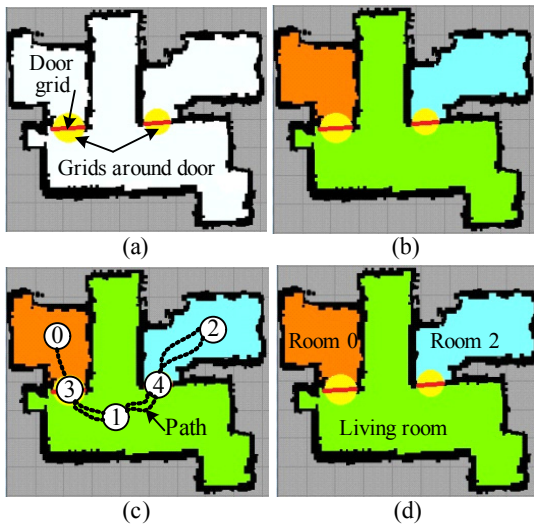


Fig. 13. Process of area classification and its results

그림 14는 격자지도, CAIG 지도, 위상지도가 모두 포함된 계층적 시맨틱 지도를 보여준다. 그림 15는 이러한 계층적 시맨틱 지도를 통해 로봇은 사용자가 원하는 작업을 효율적이고 안전하게 수행할 수 있음을 보여준다. 사용자가 그림 15(a)와 대기하고 있는 로봇에게 0번 방으로 이동하라는 명령을 내리면, 로봇은 그림 15(b)와 같이 0번 노드가 대표하는 지역까지의

최단경로를 격자지도를 통해 생성한다.

사용자가 기존의 격자지도만을 이용하여 이동로봇을 제어하면, 원하는 목적지에 대한 격자지도상의 좌표를 알아야 했지만, 계층적 시맨틱 지도를 이용하면 기존의 격자지도만을 이용한 경우보다 인간과 로봇간의 의사 소통을 보다 원활하게 할 수 있다. 이후 그림 15(c)와 같이 최단경로를 따라 원하는 목적지에 도착할 수 있다. 최단 경로를 통해 이동하는 과정에서, 로봇은 자신의 위치정보를 이용하여 시맨틱 지도의 환경정보를 알아낼 수 있다. 예를 들어, 로봇이 문 주변에 진입하면 이동속도를 낮춘다. 본 실험에서는 0.6m/s로 이동하다가 0.2m/s로 속도를 낮추어서, 문 앞에서 돌발 장

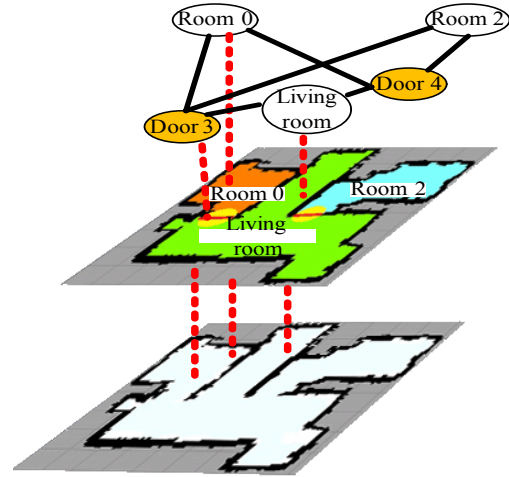


Fig. 14. Hierarchical semantic map

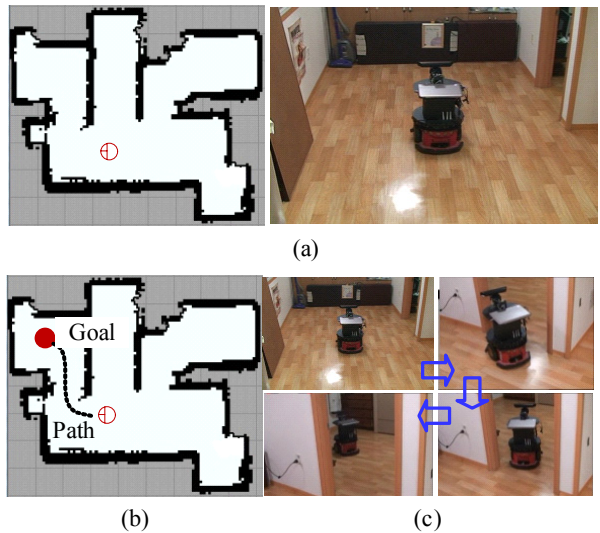


Fig. 15. Experimental results of navigation using hierarchical hybrid map

애물과의 충돌을 예방할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 격자지도와 문 정보를 이용하여 분류된 지역정보가 포함된 계층적 시맨틱 지도를 작성할 수 있는 방법을 제안하였으며, 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 위상지도를 통해 사용자에게 직관적인 명령체계를 제공함으로써, 로봇이 인간과 소통할 수 있는 또 하나의 방법론을 제시하였다.
2. 방, 거실, 문과 같은 분류된 지역정보가 포함된 시맨틱 지도를 통해 효율적이며 안정적인 주행을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 문 판별 오차에 따른 지도 구성 기법의 강인성을 정량적으로 기술하지 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 문 판별 오차에 따른 지도 작성의 강인성을 확인할 수 있는 방법을 개발해야 한다. 또한 지도작성과 함께 공간에 존재하는 여러 물체의 정보를 수집하여 환경을 보다 정확하고 자세하게 구분할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

#### 참고문헌

[1] M. Montemerlo and S. Thrun, "Simultaneous localization and mapping with unknown data association using FastSLAM," Proc. of IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 1985-1991, 2003.

[2] Y. J. Lee, T. B. Kwon, and J. B. Song, "SLAM of a Mobile Robot using Thinning-based Topological Information," International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 5, no. 5, pp. 577-583, 2007.

[3] J. T. Park, J. B. Song, S. J. Lee and M. Kim, "Sonar Sensor-based Efficient Exploration Method using Sonar Salient Features and Several Gains," Journal of Intelligent and Robotic System, vol. 63, no 3-4, pp. 465-480, 2010.

[4] O. M. Mozos, P. Jensfelt, H. Zender, G. J. M. Kruijff, and W. Burgard, "From labels to

semantics: An integrated system for conceptual spatial representations of indoor environments for mobile robots," Proc. of the IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems, 2007.

[5] J. T. Park, and J. B. Song, "Sensor Fusion-Based Semantic Map Building," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, vol. 17, no 3, pp. 277-282, 2011.

[6] H. Myung, H. Jeon, and W.-Y. Jeong, "Virtual Door Algorithm for Coverage Path Planning of Mobile Robot," Proc. of IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009), pp. 658-663, 2009.

[7] S. Friedman, H. Pasula, and D. Fox, "Voronoi random fields: Extracting the topological structure of indoor environments via place labeling," Proc. of Int. Joint Conference on Artificial Intelligence, 2007.

[8] K. Konolige, "A Gradient Method for Real-time Robot Control," Proc. of IEEE Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 639-646, 2000.



**박 중 태**

2005 고려대학교 전산학과 (이학사)  
 2007 고려대학교 메카트로닉스학과(공학석사)  
 2010 고려대학교 메카트로닉스학과(공학박사)

관심분야: 이동로봇의 탐사 기법 및 시스템 아키텍처



**송 재 복**

1983 서울대학교 기계공학과 (공학사)  
 1985 서울대학교 기계설계학과(공학석사)  
 1992 MIT 기계공학과 (공학박사)

1993~현재 고려대학교 기계공학부 교수

관심분야: 머니플레이터 설계 및 제어, 이동로봇의 주행