

# 모바일 로봇에서 RFID를 이용한 지도작성 알고리즘 개발

김시습\*, 선정안<sup>+</sup>, 기창두<sup>++</sup>

(논문접수일 2011. 1. 28, 심사완료일 2011. 3. 16)

## Development of Map Building Algorithm for Mobile Robot by Using RFID

Si-Seup Kim\*, Jeong-An Seon<sup>+</sup>, Chang-Doo Kee<sup>++</sup>

### Abstract

RFID system can be used to improve object recognition, map building and localization for robot area. A novel method of indoor navigation system for a mobile robot is proposed using RFID technology. The mobile robot With a RFID reader and antenna is able to find what obstacles are located where in circumstance and can build the map similar to indoor circumstance by combining RFID information and distance data obtained from sensors. Using the map obtained, the mobile robot can avoid obstacles and finally reach the desired goal by A\* algorithm. 3D map which has the advantage of robot navigation and manipulation is able to be built using z dimension of products. The proposed robot navigation system is proved to apply for SLAM and path planning in unknown circumstance through numerous experiments.

**Key Words** : Mobile Robot(모바일 로봇), A\*, Map Building(지도 생성), Path Planning(경로 계획), Localization(위치 추정), SLAM(Simultaneous Localization And Mapping), 3D Map(3차원 지도), Object Recognition(물체 인식)

## 1. 서론

지능형 로봇이 요구되는 임무를 수행하기 위해서 보장되어야 할 중요한 기능이 자율주행이다. 이 분야의 연구는 자신의 위치를 인식하는 위치추정(localization), 목표지점으로 이동하는 경로계획(path planning), 주변 환경의 지도를 구성하는 능력(map building), 이동 중 조우할 수 있는 장애물을 회피하는 능력(obstacle avoidance), 사물이나 사람을 식별하는 능력(recognition)을 포함한다. 최근, 이러한 문제를 해결하려는데 RFID를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

RFID를 이용하여 로봇에 적용한 사례로는 일본의 AIST(Ad-

vanced Industrial Science and Technology)에서 수행한 TAG 프로젝트와 인텔(Intel)에서 수행한 GUIDE 프로젝트를 들 수 있다<sup>(1,2)</sup>. 이외에도, 능동형 RFID 태그를 사용한 SLAM 알고리즘 개발<sup>(3)</sup>, RFID 시스템과 모노 카메라를 장착하여 복도 환경에서 로봇의 글로벌 주행 구현<sup>(4)</sup>, 실내 환경에서 레이저 파인더(Laser Range Finder)를 이용하여 자기 위치 인식 및 환경지도를 작성하고 태그의 고유한 위치를 SLAM기법으로 지도화시킨 후 보다 현실적이고 효율적인 위치인식의 구현<sup>(5)</sup>, RFID 신호의 강도를 측정하여 위치추적에 활용하고자 하는 연구<sup>(6)</sup>, RFID를 이용하여 사물을 인식하고, 사물의 정확한 위치는 시각센서(Vision sensor)를 이용하여 로봇을 조작한 연구<sup>(7)</sup>, 시각

\* 전남대학교 기계공학과 대학원

+ 용진에너지(주)

++ 전남대학교 기계시스템공학부(cdkee@chonnam.ac.kr)

주소: 500-757 광주광역시 북구 용봉로 77

센서와 RFID 시스템을 이용한 사물의 자세인식에 관한 연구<sup>(8)</sup>, RFID 태그를 바닥에 설치하여 로봇의 위치를 추정하는 연구<sup>(9-10)</sup> 등이 진행되었다.

유비쿼터스 시대에는 현재 바코드가 제품에 부착되어 판매되는 것처럼, RFID 수동태그가 제품에 부착되어 나올 것이며, 태그의 정보는 사용자가 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속하여 얻을 수 있게 된다. 이 점을 이용하여, 본 논문에서는 사물인식, 지도 작성 및 위치추정 분야에 RFID 시스템을 적용하여 미지의 환경에서 자율주행을 실현하고자 한다. 이 연구를 수행하기 위해 RFID 리더와 안테나를 장착한 로봇을 제작하고, 맵 빌딩, 객체인식, 경로계획, 위치추정 알고리즘을 적용하여 실내 환경과 근사한 지도를 얻을 수 있음을 입증한다. 또한, 획득된 지도와 A\* 알고리즘을 이용하여 로봇이 장애물을 피해 목표지점까지 이동할 수 있음을 검증한다.

## 2. 로봇 주행 시스템

### 2.1 시스템 구조

이동 로봇은 가변적인 환경에서 자율적으로 작업을 수행하여야 하므로, 기본적인 주행능력이 요구된다. 로봇 주행 시스템(RNS)은 현재 자신의 위치를 추정하고, 원하는 목표지점까지 최적의 경로를 계획하여 장애물을 회피하면서 이동하는 주행 기반 시스템이다. 본 논문에서 제안한 RNS는 실내 환경에서 다양한 이동 로봇에 확장 적용할 수 있도록 개발하였으며, 하드웨어와 소프트웨어로 구성하였다. 하드웨어는 구동부, 센서부 및 제어부로, 소프트웨어는 하드웨어 관리 모듈과 주행 알고리즘 모듈로 구성하였다. Fig. 1은 제안하는 RNS 시스템의 구조를 나타낸 것이다.

하드웨어는 2개의 스텝핑 모터, 4개의 초음파센서, 8개의 적외선 센서, RFID 시스템, DSP 모듈로 구성되어있으며, 통신은 RS-232c를 기반으로 블루투스 통신을 이용하였다. RFID 시스템은 Sirit사의 Infinity210과 수동 태그를 사용하였다.

소프트웨어는 Visual C++ 6.0과 Open GL을 이용하여 개발되었으며, 모바일 로봇의 구성품을 테스트 해볼 수 있는 다이얼로그(Dialog) 창과 맵 빌딩, 위치추정, 경로계획을 표현해주는 창으로 구성되어 있다. DSP 제어 다이얼로그는 Fig. 2(a)에 나타내었으며 통신설정, 초음파 센서와 적외선센서, RFID의 작동 결과를 보여준다. Fig. 2(b)는 컴퓨터에서 직접 RFID를 제어할 수 있는 다이얼로그로써 사물들의 정보를 쉽게 저장할 수 있는 기능, 태그에 원하는 데이터를 입력하는 기능, 사물에 따른 x, y, z 치수정보를 되돌려 주는 기능이 포함되어 있어 RFID 시스템에 관한 전반적인 사항을 테스트 할 수 있다.

Fig. 3은 RNS 프로그램으로써, ①은 2D 맵을 그리거나 수정하며, 로봇의 위치 표시 및 태그를 사물에 붙이는 기능을 가지

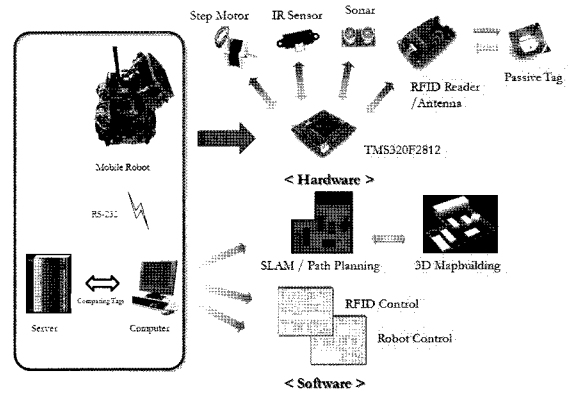


Fig. 1 Schematic diagram of RNS

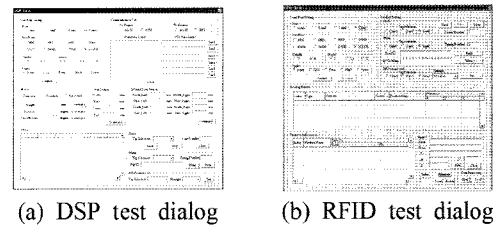


Fig. 2 Control dialog

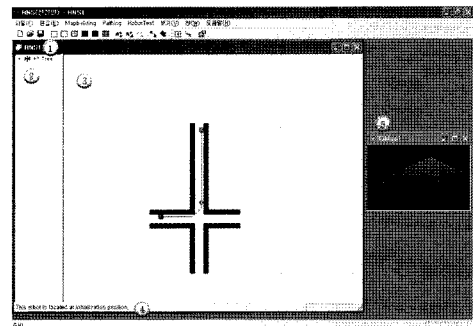


Fig. 3 Main window of RNS

고 있는 메인 프레임의 왼쪽(②)은 경로계획이 실행이 되면 노드별 해당 비용을 보여주는 부분이며, 메인 프레임의 오른쪽(③)은 로봇이 시작점으로부터 목표지점까지 길을 찾아 가는 것을 보여준다. ④는 로봇의 현 위치를 나타내며, ⑤는 맵 빌딩 한 결과를 3D로 보여주는 기능이 있다.

## 3. 모바일 로봇의 주행 알고리즘

### 3.1 객체인식(Object Recognition)

유비쿼터스 시대에는 태그가 부착된 제품들이 실내공간에 배치되게 되며, 어느 장소에서라도 원하는 정보의 접근이 가능하므로, 인터넷을 통해 상품명에 따른 형상이나 치수 등의 정보를

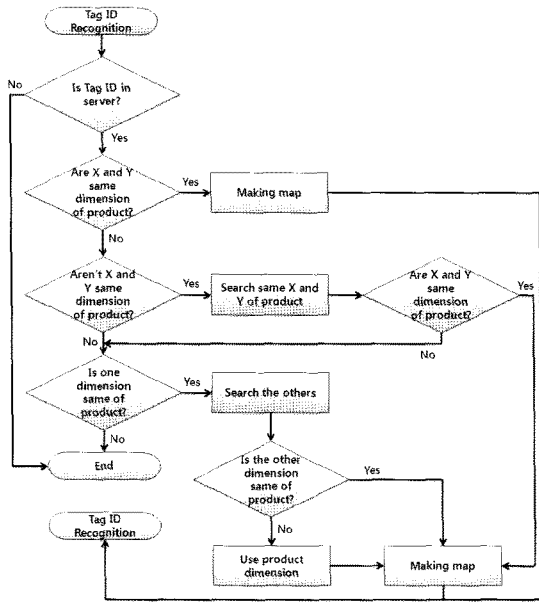


Fig. 4 Flow chart of product recognition algorithm

얻을 수 있다고 가정한다.

RFID를 통해 로봇이 사물을 인식하는 방법은, 리더가 제품의 태그를 인식하면, 태그 ID를 DSP로 전송하고, DSP는 PC로 재전송한다. PC에서는 받은 태그 ID를 서버 내에 저장된 여러 사물 데이터와 비교하여 해당되는 제품의 품명과 x, y, z방향의 치수 정보를 얻어온다. 이 정보를 기본으로 적외선 센서와 초음파 센서로부터 측정된 거리 정보를 이용하여 지도상에 사물이 놓인 위치를 찾게 된다. 주행 알고리즘의 전체 흐름도는 Fig. 4에 나타내었다.

적용된 알고리즘은 ① 제품의 길이 x, y 둘 다 일치하는 경우, ② x, y 중 하나만 일치하는 경우, ③ RFID로 검색은 되었지만 x, y 모두 일치하지 않은 경우, ④ x, y 중 하나만 일치하고 다른 하나를 못 찾은 경우로 구분하여 사물이 놓인 위치를 찾게 되고, 위 4가지 조건에 해당되지 않는 경우에는 로봇의 주행에 방해가 되지 않으므로 무시한다.

### 3.2 맵 빌딩(Map Building)

적외선 센서와 초음파 센서로만 맵 빌딩을 할 경우<sup>(11~12)</sup>, 사물의 존재여부만을 알 수 있기 때문에 로봇이 이동할 수 있는 경로만을 바탕으로 맵 빌딩을 하게 된다.

그러나 RFID 태그가 사물에 부착되어 있으면, 그 정보를 이용하여 실내 공간을 3D 맵으로 구성 할 수 있는 장점이 있다. 맵 빌딩 알고리즘은 3단계로 구성되며, Fig. 5에 전체 흐름도를 나타내었다.

먼저, 가장 가까운 벽을 찾아서 시계방향으로 회전하면서 로봇이 움직일 수 있는 맵의 크기를 알아내고, 사물의 태그를 이용하여, 주변에 어떤 사물이 놓여있는지를 인식한다. 1단계가

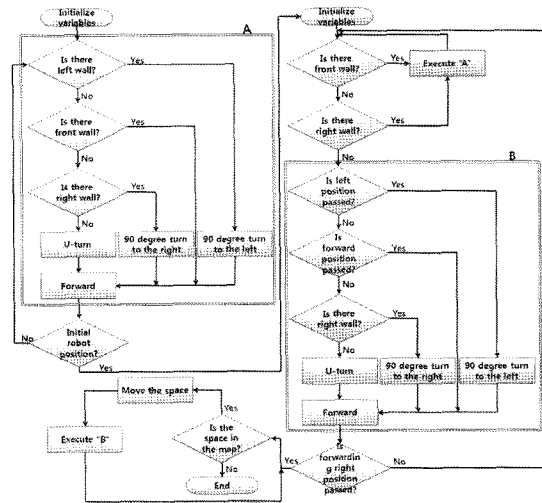


Fig. 5 Flow chart of map building algorithm

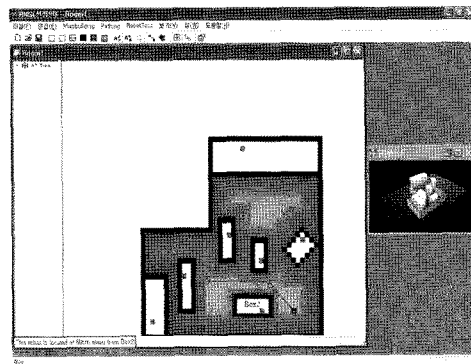


Fig. 6 A example of path planning and localization

완료되면 안쪽으로 이동하여 시계방향으로 회전하면서 2차 맵 빌딩을 하게 되며, 로봇을 중심으로 좌우측, 정면이 과거에 방문했던 곳인지 아닌지를 판별하여 이동하게 된다. 이동 중 사물이 인식되면 지도상에 배치하게 된다. 마지막 단계는 맵 빌딩을 완료한 후 블랙홀이 생기게 되면 실행하는 단계로서, 아직 방문하지 않은 곳을 찾아 A\* 알고리즘을 사용하여 이동한 후, 지도의 모든 곳을 방문하는 알고리즘이다. 맵 빌딩을 하고 나면, 그 정보를 바탕으로 Open GL를 이용하여 작성한 창에 3차원 Map을 보여준다.

### 3.3 경로계획(Path Planning)

A\* 알고리즘은 초기노드에서 목표노드까지 경로를 찾는 알고리즘으로 넓이우선탐색과 깊이우선탐색을 조합하고 목표노드까지의 거리를 고려하여 최적의 비용을 찾아가는 휴리스틱 기반의 탐색 알고리즘이다. 다시 말해서 초기노드에서 목표노드까지 갈 수 있는 거리 중에서 최단거리를 찾아주는 알고리즘이며<sup>(13~15)</sup>, 본 논문에서는 목표 노드까지의 가장 효율적인 경로를 추정하기 위해 A\* 알고리즘을 이용하였다. 로봇의 최적 경

로를 탐색하고, 로봇이 좀 더 지능적이고 자연스럽게 이동하는 것처럼 보이기 위해 미학적 최적화를 통하여 로봇의 방향 전환을 최소화하고 가능한 직선주행을 하도록 알고리즘을 구현하였다. Fig. 6은 A\* 알고리즘의 미학적 최적화를 통해 탐색한 경로를 보여주고 있다.

### 3.4 위치추정(Localization)

본 논문에서 로봇의 위치인식방법은 초기 구동시 중심점을 임의의 점으로 설정하고, 로봇이 이동할 때마다 방향과 이동거리를 고려하여 중심점을 갱신한다. 즉, 이동 중인 방향의 어떤 면에 임의의 사물이 인식되면, 그 사물의 가장 가까운 모서리 좌표로부터 현재 로봇의 중심점 좌표간의 거리를 계산하여 자신의 위치가 얼마만큼 떨어져 있는지를 추정하는 방식이다. 맵 빌딩 이후에는 모바일 로봇과 주변의 사물과의 거리를 모두 계산하여 최단거리에 있는 사물의 위치로부터 로봇의 위치를 표현한다. Fig. 6에서 하단의 사각형은 이를 나타내고 있다.

## 4. 시뮬레이션 및 실험

### 4.1 장치구성 및 실험방법

RFID를 이용한 모바일 로봇의 주행 실험 장치는 모바일 로봇과 PC로 구성된다. Fig. 7은 본 연구에서 사용한 모바일 로봇과 태그를 보여주고 있으며, Fig. 8은 RNS 프로그램이다. 모바일 로봇은 소형으로 제작되어 크기는 약 200mm×160mm이며,

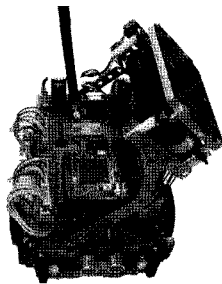


Fig. 7 The developed mobile robot

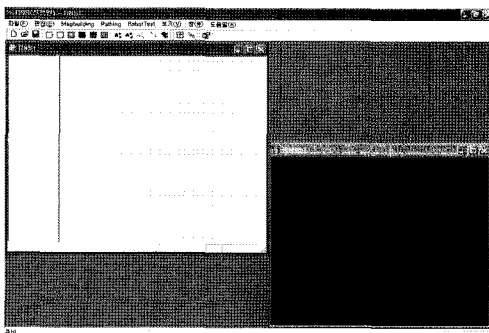


Fig. 8 Main window of developed RNS

최대속도는 52cm/s로 하였다. 실험은 먼저 A\* 알고리즘으로 경로계획을 하고 그 경로를 따라 로봇이 이동하는지 확인한 후 3D 지도를 작성하면서 SLAM, 경로계획 등을 검증한다. 즉, 로봇이 이동할 때 적외선 센서와 초음파 센서를 이용하여 거리를 측정하고, RFID 리더로 태그 ID를 인식한다. 이 데이터를 블루투스 무선 모듈을 이용하여 PC로 전송하며, 개발된 프로그램을 이용하여 지도 생성, 로봇 위치 추적, 경로계획 등을 구현하고, 최종적으로 Open GL로 3D 맵을 형성한다.

### 4.2 실험환경

실내 환경은 벽과 평면바닥으로 구성하고, 이 공간에는 책상, 책장, 컴퓨터, 박스 등과 같은 다양한 물체들이 존재한다고 가정한다. Fig. 9는 실제 실험 환경을 보여주고 있다.

### 4.3 실험결과

#### 4.3.1 경로계획과 이동

로봇이 출발지점에서 장애물을 피해 최적의 경로를 선택하여 목표 지점까지 이동하는 실험을 실시하였다. 실험은 시뮬레이션을 이용해 가상실험을 한 후 그 실용성을 검증하기 위해 제작된 로봇을 이용하여 실제 실험을 수행하였다. 우선, 시뮬레이션

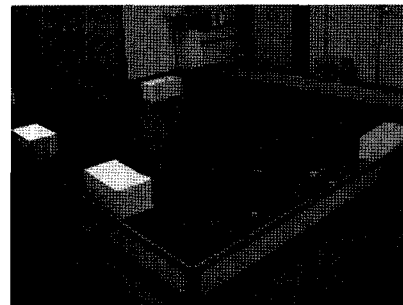


Fig. 9 Experimental environment

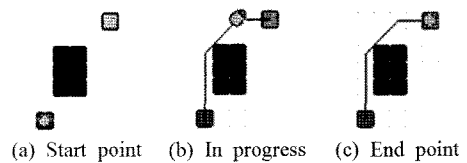


Fig. 10 Simulation result of path planning

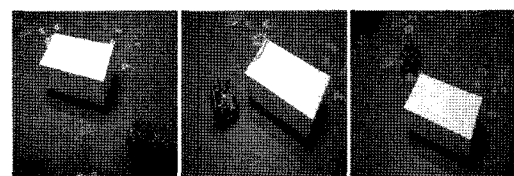


Fig. 11 Experimental result of path planning

은 실제 물체의 크기를 가상적으로 배치하여 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 10에 나타냈듯이 로봇이 경로를 선택하여 목표지점까지 잘 이동함을 확인하였다. 실제 실험 결과는 Fig. 11과 같으며 시뮬레이션 결과와 동일하였다.

#### 4.3.2 가상공간에서 SLAM, 경로계획 및 3D 지도 작성

제안한 RNS 시스템을 이용하여 모바일 로봇이 SLAM, 경로 계획, 사물인식 및 3D 지도를 작성하는지를 검증하기 위하여 우선 컴퓨터 시뮬레이션을 실행한다. 실험환경과 동일한 길이, 폭, 높이가 각각 7800mm, 8000mm, 200mm인 직육면체 공간 상에 다양한 물체를 배치하고 태그를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해 각각 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션은 로봇이 이동하면서 가상으로 설치한 RFID와 거리센서를 이용하여 거리와 사물 정보를 획득하고, 이 정보를 바탕으로 SLAM과 경로계획을 실행한다. 최종적으로, Open GL을 이용해 3차원 지도를 작성한다.

가상의 실내공간에서 시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 12와 같다. RFID 태그를 사용하지 않은 경우는 배치된 사물들을 장애물로만 인식하고 실제 가상공간의 A, B 지역에 대한 정보가 없어 실내공간과 동일하지 않은 맵을 형성한다. 즉, 로봇이 지나갈 수 있는 최소 영역만을 맵 빌딩한 결과를 얻는다. 그러나 RFID 태그를 사용한 경우의 결과는 가상의 실내 공간과 근사한 지도를 얻을 수 있으며, 주변에 배치된 물체의 정보를 이용해 조작과 주행이 가능한 3D 지도를 형성할 수 있다.

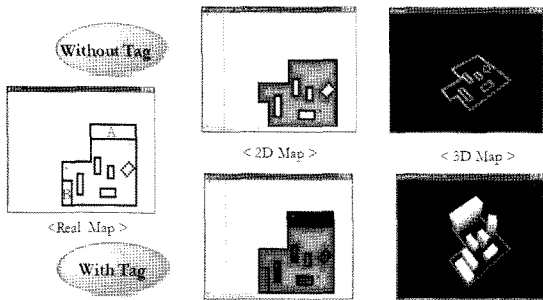


Fig. 12 Simulation results in virtual space

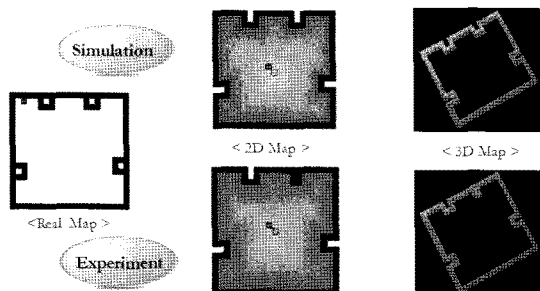


Fig. 13 Simulation and experimental results without tags

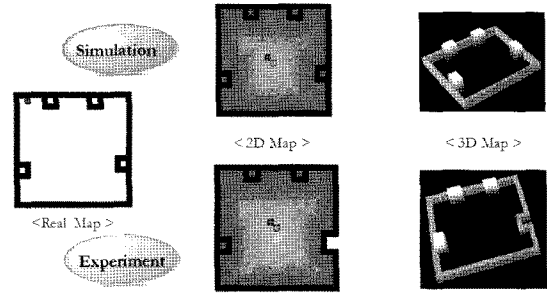


Fig. 14 Simulation and experimental results with tags

#### 4.3.3 실제 공간에서 SLAM, 경로계획 및 3D 지도 작성

실험은 시뮬레이션의 실용성을 검증하기 위해 실시하였고, 그 결과는 Fig. 13, 14와 같다. 실험은 RFID를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우로 수행하였다. Fig. 13에 RFID를 부착하지 않은 경우의 결과를 나타냈으며, 실제 맵과 시뮬레이션 결과가 정확하게 일치하지 않는다. 이것은 스텝모터의 에러와 규격화된 격자크기(200×200mm)에 기인한 것으로 판단된다.

RFID를 부착한 경우의 결과는 Fig. 14와 같으며 실내와 정확히 일치한 맵 빌딩을 구현할 수는 없었다.

그러나 저가인 초음파 센서와 적외선 센서를 이용하여 측정된 거리 정보와 RFID 태그를 이용한 사물정보를 조합하여 로봇의 위치추정, 맵 빌딩에 이용할 수 있었다. 또한 위치추정과 맵 빌딩을 바탕으로 경로계획을 하여 장애물을 회피하여 이동할 수 있음을 입증하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 서비스 로봇의 가장 기본이 되는 자율주행을 구현하는데 있어서 RFID를 이용한 RNS를 제안하였다. 이 시스템은 초음파 센서와 적외선 센서를 이용하여 장애물을 탐지하고 맵핑하며, RFID를 이용하여 사물을 인식함과 동시에 사물에 대한 정보를 얻어 위치인식 및 3D 맵 빌딩이 가능하도록 한 내용으로, 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) RFID 태그를 이용하여 사물의 크기나 형상과 같은 특정한 정보를 얻어 로봇의 위치추정 및 맵 빌딩에 이용할 수 있음을 입증하였다.
- (2) 적외선 센서와 초음파 센서만으로 맵을 형성하는 것보다, RFID 시스템을 추가적으로 이용하면 실내 공간에 보다 근사한 맵을 얻을 수 있고, 사물의 높이에 대한 정보를 이용하여 3차원 맵을 형성할 수 있었다.
- (3) 제안된 RNS의 맵 빌딩과 위치추정을 기반으로 로봇의 효율적인 경로계획을 확인하였고, 시뮬레이션의 실용성을 다양한 실험을 통해 검증하였다.

본 연구에서는 스테핑 모터를 사용하여 개루프 제어의 특성상 오차가 누적될 수밖에 없으나, 이러한 문제를 해결하기 위해 피드백 제어를 구현 한다면 보다 실내 환경에 근사한 맵을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 전남대학교 연구년 교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Chong, N. Y., Hongu, H., Ohba, K., Hirai, S., and Tanie, K., 2004, "A Distributed Knowledge Network for Real World Robot Applications," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 187~192.
- (2) Philipose, M., Fishkin, K., Fox, D., Katz, H., Patterson, D., and Perkowitz, M., 2003, "Guide : Toward Understanding Daily Life via Auto-Identification and Statistical Analysis," *In proc. of the Int. Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications(Ubi-health)*.
- (3) Kantor, G., and Sinha, S., 2002, "Preliminary Results in Range-Only Localization and Mapping," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1818~1823.
- (4) Tsukiyama, T., 2002, "Global Navigation System with RFID Tags", *Proc. SPIE*, Vol. 4573, pp. 256~ 264.
- (5) Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K., and Philipose, M., 2004, "Mapping and Localization with RFID Technology," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1015~1020.
- (6) Yamano, K., Tanaka, K., Hirayama, M., Kondo, E., Kimuro, Y., and Matsumoto, M., 2004, "Self-Localization of Mobile Robots with RFID System by Using Support Vector Machine," *IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp. 3756~3761.
- (7) Chong, N. Y., Hongu, K., Miyazaki, M., and Takemura, K., 2004, "Robots on Self-Organizing Knowledge Networks", *Int. Proc. ICRA 2004*. pp. 3494~3499.
- (8) Boukraa, M., and Ando, S., 2002, "A Computer Vision System for Knowledge-Based 3D Scene Analysis Using Radio-Frequency Tags", *Multimedia and Expo, 2002. ICME '02. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on*, Vol. 2, pp. 245~248.
- (9) Lee, H. J., and Lee, M. C., 2006, "Localization of Mobile Robot Based on Radio Frequency Identification Devices", *SICE-ICASE International Joint Conference*, pp. 5934~5939.
- (10) Seo, D. S., Lee, H. G., Kim, H. S., Yang, G. W., and Won, D. H., 2006, "Monte Carlo Localization for Mobile Robots Under RFID Tag Infrastructures", *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering* Vol. 12, No. 1, pp. 47~53.
- (11) Oh, S. B., and Han, S. H., 2008, "A Technology of Obstacle Avoidance of Mobile Robot", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol 17, No. 6, pp. 132~145.
- (12) Shim, B. K., Nguyen, H. C., Kim, J. H., Cho, C. J., and Han, S. H., 2009, "Obstacle Avoidance Control of Mobile Robot", *Spring Conference of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 242~246.
- (13) Lee, W. S., Oh, S. B., Ahn, Y. G., Mun, J. H., and Han, S. H., 2008, "Dynamic Path Planning of Mobile Robots", *Autumn Conference of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 429~432.
- (14) Lee, W. S., Oh, S. B., Ahn, Y. G., and Han, S. H., 2009, "Path Control of Travelling Robots", *Autumn Conference of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 247~250.
- (15) Nguyen, V. Q., and Han, S. H., 2009, "Development of a New Navigation Technology for Mobile Robot Based on Sonar Sensors", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 18, No. 6, pp. 664~674.