

# 실내 환경에서 운용 가능한 RFID 기반 청소 멀티 로봇 시스템

안상선\*, 신성욱\*, 이정욱\*\*, 백두권\*

\*고려대학교 컴퓨터학과

\*\*건국대학교 항공우주정보시스템공학과

e-mail : {sunny, stnoble, baik}@software.korea.ac.kr

e-mail : ljo7@konkuk.ac.kr

## A RFID-Based Cleaning Multi-Robot System in Indoor Environments

Sang-Sun An\*, Sung-Oog Shin\*, Jeong-Oog Lee\*\*, Doo-Kwon Baik\*

\*Dept of Computer Science & Engineering, Korea University, Korea

\*\*Dept of Aerospace Information Engineering, Konkuk University, Korea

### 요 약

로봇의 응용과 활용분야는 현 산업의 주요 이슈가 되고 있다. 현재 싱글로봇의 효율적인 운영을 넘어 넓은 공간에서 중복적인 공간 탐색을 최소화하기 위한 멀티 로봇 운영 기법은 중요한 연구 주제 중에 하나로 부각되고 있다. 멀티 로봇을 효율적으로 운영하기 위해서는 멀티 로봇 시스템의 각 싱글 로봇의 움직임을 파악하여 효율적으로 업무를 할당 할 수 있는 관리체계가 필요하다. 멀티 로봇의 업무 할당과 중복 탐색 최소화를 위해 본 논문에서는 중앙 서버와 RFID 시스템을 이용한 청소 멀티 로봇 운영 기법을 제안한다. 제안한 시스템은 로봇의 localization, navigation 및 mapping을 효율적으로 수행하기 위해 RFID를 활용하고 최적의 청소 공간 할당을 위하여 중앙 서버가 멀티 로봇을 효율적으로 관리한다. 청소 멀티 로봇 시스템에서는 싱글 로봇과 비교하여 효율적인 로봇의 운영을 보장할 뿐만 아니라 각 싱글 로봇의 상태와 주변 상태를 고려한 fault-tolerance를 제공함으로써 로봇 운영의 신뢰성을 보장할 수 있다.

### 1. 서론

넓은 공간에서 공간 탐색을 위해 멀티 로봇을 운영하는 기법은 로봇 연구의 중요한 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 RFID 시스템을 활용한 청소 멀티 로봇 시스템을 제안한다. 본 시스템에서는 중앙서버가 실내 환경에서 청소 작업을 수행하는 각 싱글 로봇에게 공간 할당 및 동적 공간 재할당을 수행함으로써 중복 탐색을 최소화한다. 중앙 서버를 이용하여 각각의 로봇에게 청소 업무를 할당하고 각 싱글 로봇들은 자신이 할당 받은 지역만을 책임지고 처리하도록 설정된다. 만약 주변 환경의 문제로 각 싱글 로봇에 문제가 발생하거나 로봇의 오류 발생 및 청소 작업 시간이 지연된다고 판명되는 경우 중앙 서버는 청소 작업을 완료하고 대기중인 싱글 로봇에게 메시지를 보내게 된다. 메시지를 받은 싱글 로봇은 청소되지 않은 다른 지역의 RFID 태그를 인지하고 전체 청소작업이 완료되도록 청소 되지 않은 공간을 동적으로 재할당 받는다. 이를 통해 청소 멀티 로봇 시스템은 fault-tolerance 를 보장하

며, 멀티 로봇 시스템의 신뢰성을 확보한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 멀티로봇과 RFID시스템에 관련된 연구 분야에 대해 소개하고 3장에서는 RFID 환경에서의 청소 멀티 로봇 운영 방법에 대해서 언급한다. 4장에서는 본 논문에서 제시하는 청소 멀티 로봇 운영 방법의 성능 평가를 하고 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1. RFID

RFID시스템이란 각종 사물에 RFID 태그를 부착해 태그 내에 있는 정보와 주변 환경정보를 무선 주파수로 전송·처리하는 비접촉식 인식시스템이다[1]. RFID시스템을 이용하여 특정한 거리내의 태그 정보를 인식할 수 있으며, 이런 이점으로 인해 최근에 RFID 시스템을 로봇에 적용

시킨 많은 연구가 진행 중에 있다. RFID 환경에서 리더기를 부착한 모바일 로봇이 특정한 거리 내에 있는 태그 정보를 읽음으로서 사물 및 환경 인식이 가능하게 된다. 태그로부터 얻어진 정보들을 기초로 로봇의 localization 및 사물 정보 추출 등이 가능하게 되어 RFID 환경은 로봇에게 더 많은 기술적 이점을 제공해 줄 수 있다.

[2]에서는 천장에 달린 태그의 빛을 3차원 비전 장치로 인식하여 RFID 태그를 찾고 인식된 태그 정보를 바탕으로 로봇의 정확한 위치를 찾을 수 있다. 또한, 빛을 활용한 기법이기 때문에 어두운 곳에서도 정확히 태그를 찾을 수 있다는 이점이 있다. 로봇 밑 부분에 리더기를 달아 바닥에 부착되어 있는 태그들을 인식하여 로봇의 정확한 위치를 찾는 방법도 제시되었다[3]. RFID태그를 이용해 재난 현장에서 맵 생성을 하여 희생자의 위치인식이 가능한 기법도 제시되었다. 이 방법은 RFID 태그를 이용해 재난 현장에서의 효율적인 멀티 로봇 탐색 방법 또한 제시한다[4]. [5]는 도서 관리 시스템에 RFID를 이용한 시스템을 소개하였다. 대출/반납되어지는 책에 태그를 붙이고 반납 장소에 부착된 리더기를 이용하여 대출/반납이 자동화되게 할 수 있도록 시스템을 구축 하였다. 또한, RFID 시스템을 이용해 시각 장애인들을 위해 카트 역할을 하며 쇼핑을 돕는 로봇도 개발되었다[6].

### 2.2 멀티 로봇

최근 멀티 로봇 운영 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 효율적인 업무 할당은 중요한 이슈가 되고 있다.

[7]에서는 중앙 센서 네트워크를 이용한 멀티 로봇 업무 할당 기법을 제시한다. 중앙 센서는 업무 할당의 역할을 하고 각 싱글 로봇은 자신이 할당 받은 구역에서 작업을 수행하는 방법을 제시하고 있다. 중앙 센서 없이 각기 다른 기능을 가지는 로봇들이 할당된 업무를 수행하는 시스템은 [8]에서 볼 수 있다. 멀티 로봇 시스템에서 각 싱글 로봇들은 정보를 서로 공유하며 각각의 기능들로 업무를 수행하게 된다.

### 3. RFID 기반 청소 멀티 로봇 시스템

본 논문에서 제안한 RFID 기반 청소 멀티 로봇 시스템은 RFID를 활용하여 싱글 로봇들의 localization 및 공간 할당을 수행함으로써 mapping, localization에 소요되는 비용을 최소화 한다. 각 싱글 로봇을 관리하는 중앙 서버는 작업 초기에 각 싱글 로봇들이 담당할 공간을 설정하며 주기적으로 각 싱글 로봇의 상태 및 작업 공간의 환경 정보를 종합하여 전체적인 작업 완료를 위한 작업 공간을 동적으로 재할당한다. 또한 신뢰성 있는 시스템 운영을 위해서 싱글 로봇의 동작 상태를 파악하여 로봇의 오류 발생 및 환경 요인을 분석함으로써 신뢰성 있는 시스템 운

영을 유도한다.

#### 3.1 싱글 로봇의 공간 할당

그림 1은 RFID 태그를 천장에 부착한 실내 환경을 보여주고 있다. 각 싱글 로봇은 자동, 벽면, 소용돌이, 지그재그 청소 방법과 같은 다양한 청소 모드를 선택하여 청소 작업을 수행한다. 그림 1에서 각 로봇, R1, R2, R3, R4는 RFID 태그 정보를 순차적으로 읽어 나가며 청소 작업을 수행 하게 된다.

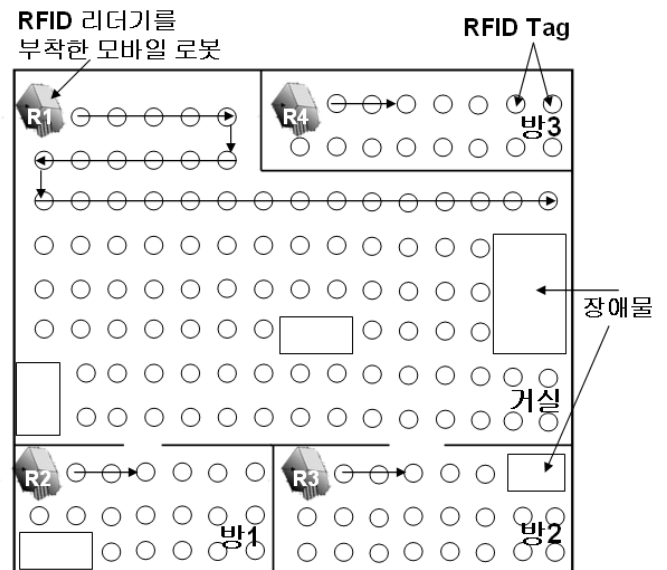


그림 1. RFID에 기초한 작업 환경

RFID 태그 정보 내에는 각각의 고유한 태그 ID 정보가 저장 되어 있다. 중앙 서버는 RFID 태그 정보를 바탕으로 mini map을 생성하고 로봇에게 전달하여 각 싱글 로봇의 작업 공간을 할당할 수 있다. 로봇은 태그 안에 있는 ID를 리더기로 읽어 들인 뒤 태그 ID를 데이터베이스에 있는 map 정보와 비교/검색한 후 검색된 정보를 바탕으로 자신의 위치정보를 확인한다.

각 싱글 로봇은 청소 작업이 시작되는 순간 자신에게 할당된 구역을 mini map 형식으로 중앙 서버에게 전달 받으며, mini map에는 현재 자신에게 할당된 지역을 제외한 지역은 장애물로 인지하도록 설정된다. 이를 토대로 싱글 로봇은 태그 정보를 순차적으로 읽어 나가며 자신이 할당받은 태그 ID 정보(지역 정보)와 일치 하는가를 판단하여 자신에게 할당된 지역에서 청소 작업을 수행하고 있다는 것을 인지한다. 만약 자신에게 할당된 지역이 아닌 다른 지역으로 로봇이 이동하면 읽혀진 RFID 태그 정보를 바탕으로 잘못된 이동을 수행한 것으로 간주한다. 잘못된 이동 경로를 인지한 데이터를 기준으로 다시 자신이 할당받은 지역으로 복귀한다. 이로 인해 RFID 태그가 부착된 환경에서 로봇들은 자신이 할당받은 공간만을 탐색

하는 것이 가능하며 로봇들 간의 중복 탐색 및 충돌을 피할 수 있다. 또한 자신의 공간에서 정해진 작업 프로세스에 따라 순차적으로 이동하며 얻어진 태그 정보를 바탕으로 할당 받은 지역의 청소 작업이 완료되었는지를 파악하고 중앙 서버에게 보고하며 중앙 서버는 청소 작업을 완료한 로봇을 기억한다. 청소작업을 하는 싱글 로봇이 이동하며 자신이 할당 받은 지역의 태그 정보를 모두 읽으면, 싱글 로봇은 할당받은 지역의 청소 작업이 완료 되었다는 것을 자동으로 판단할 수 있다.

### 3.2 작업 환경에 따른 작업 공간의 동적 재할당

RFID 기반 청소 멀티 로봇 시스템에서 시스템 전체를 관리하는 중앙서버는 각 싱글 로봇의 현재 상태, 환경 정보 및 작업 진척도를 싱글 로봇에게 주기적으로 보고 받는다. 그림 1에서 R1 로봇과 같이 장애물 또는 작업량이 많은 작업 환경을 할당받은 싱글 로봇은 청소 작업 완료가 지연될 수 있다. 중앙 서버는 실시간으로 로봇들을 체크함으로써 작업 완료된 로봇과 지연되는 싱글 로봇을 파악하게 된다. 작업이 지연되는 로봇이 읽어 들인 최신의 태그 정보를 중앙 서버가 관리하며, 이 정보를 바탕으로 작업이 완료되지 않은 남은 공간을 인지한다. 완료되지 않은 청소 공간은 청소 작업을 완료하고 대기중인 싱글 로봇 중에 인접한 로봇에게 할당함으로써 그림 2와 같이 동적으로 로봇들의 공간할당이 새롭게 이루어진다.

그림 2에서는 그림 1에서 다른 공간보다 넓은 공간을 할당받은 R1 로봇의 청소 작업이 지연되는 상황을 보여주고 있다. 거실의 청소 작업이 완료되기 전에 방1과 방2의 청소 작업을 맡은 R2, R3 로봇들은 작업이 완료되어 동작하지 않음을 중앙 서버가 인지하게 된다. 거실의 청소를 돕기 위해 방1과 방2에 있는 R2, R3 로봇들의 할당 공간을 거실까지 확장함으로써 로봇들의 청소 공간 재할당이 이루어진다. 청소 공간의 재할당을 위해 중앙 서버는 각 싱글 로봇들의 작업 완성도 및 이동 거리, 싱글 로봇의 작업 효율성 등을 고려하여 재할당될 공간을 적합한 싱글 로봇에게 동적으로 재할당한다. 중앙 서버는 작업 공간 재할당을 수행함으로써 멀티로봇 시스템에서의 작업 효율의 극대화를 추구할 수 있으며 각 싱글 로봇들의 효율적인 운영이 가능하게 된다. 다수의 로봇이 새롭게 공간 할당을 수행할 때에는 남은 공간을 균등하게 분배할 수 있도록 중앙 서버가 로봇들을 관리 하게 된다. 이런 실시간 공간 재설정을 함으로써 로봇들 간의 업무 할당 효율성을 높이게 된다. 이와 같은 방식으로 RFID 태그가 설치된 공간에서의 멀티로봇의 중복을 최소화하는 청소 작업이 가능하며 또한 싱글 로봇에 이상이 발생 시 다른 싱글 로봇을 이용한 복구 작업을 통해 fault-tolerance 기능을 수행할 수 있다.

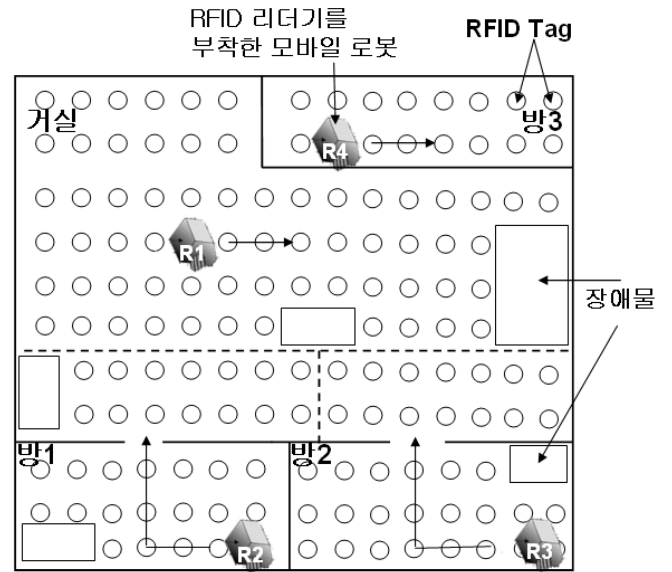


그림 2. 새로운 공간을 할당 받은 로봇의 이동 방향

## 4. 실험 및 성능 평가

RFID 기반 청소 멀티 로봇 시스템의 성능을 측정하기 위해 JAVA 기반의 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 총 6대의 싱글 로봇을 사용하였으며, 중앙 서버는 각 싱글 로봇의 세부 정보를 실시간으로 파악하는 것으로 가정하였다. 또한 시뮬레이션은 그림 1과 같은 RFID에 기초한 환경이 설정되었다.

본 논문에서는 싱글 로봇, 멀티 로봇, 공간 동적 재설정 멀티 로봇을 가지고 특정한 환경 내에서의 공간 탐색 소요 시간을 비교해 보았다. 싱글 로봇은 하나의 로봇으로 전체 공간의 청소 작업을 수행하며 멀티 로봇은 다수의 로봇으로 시작시 공간 할당을 받은 뒤 모든 로봇이 각각의 청소 공간의 작업을 마친 시점을 계산한다. 공간 동적 재설정 멀티 로봇은 초기 공간 할당 뒤, 작업 환경에 따른 작업 공간을 동적으로 재할당 받는 기법을 적용하였다.

아래와 같이 네 가지 경우에 대해 실험 평가하였으며, 그 결과는 <표1> 과 같다.

- case 1. 장애물이 없는 공간에서 로봇의 할당 공간이 같은 경우
- case 2. 장애물이 없는 공간에서 로봇의 할당 공간이 다른 경우
- case 3. 장애물이 있는 공간에서 로봇의 할당 공간이 같은 경우
- case 4. 장애물이 있는 공간에서 로봇의 할당 공간이 다른 경우

&lt;표 1&gt; 시뮬레이션 결과

	싱글 로봇	멀티 로봇	공간 동적 재설정 멀티 로봇
case 1	61 min	18 min	17 min
case 2	61 min	27 min	20 min
case 3	72 min	22 min	22 min
case 4	72 min	35 min	26 min

<표 1> 에서 보는 것과 같이 싱글 로봇보다 멀티 로봇, 멀티 로봇보다 공간 동적 재설정 멀티 로봇 기법을 이용하여 청소 작업을 수행하는 것이 청소 시간을 줄이는 효과를 내는 것을 확인할 수 있다. case 2, 4의 멀티로봇의 경우를 본다면 각 싱글 로봇의 공간 크기가 다를 경우 모든 실내 공간의 청소 작업을 마치기 위해 많은 로봇이 대기 상태에 있을 수 있다. 이 때문에 case 1보다 2의 경우와, case 3보다 4의 경우가 총 청소 작업 소요 시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 공간 동적 재설정 멀티 로봇 기법을 이용한다면 모든 작업을 완료하기 위해 대기 상태에 있는 로봇의 수를 최소화 할 수 있기 때문에 효율적으로 로봇을 관리할 수 있는 것을 case 2, 4의 공간 동적 재설정 멀티 로봇 경우를 통해 확인할 수 있다.

각각의 싱글 로봇의 할당 공간의 크기가 다를 경우 즉, 각 싱글 로봇들이 위의 그림 2와 같이 청소 시작 시간은 같지만 청소 종료 시간이 다를 경우 공간 동적 재설정 기법을 이용하는 것이 청소 소요 시간을 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 RFID 환경에서 청소 작업을 위한 멀티 로봇 운영 방법에 대해 제안하였다. 다수의 로봇이 각각의 업무 공간을 할당 받아, 로봇에 부착된 리더기와 RFID 태그를 이용하여 자신만의 공간에서 청소 작업을 수행한다. 그리고, 할당 받은 mini map을 사용하여 할당 공간만을 자신의 작업 공간으로 인식하므로 각 싱글 로봇의 충돌 회피 및 중복을 최소화 할 수 있다. 또한, 중앙서버를 사용하여 각 싱글 로봇에게 공간을 할당하고 작업 수행 중에 있는 싱글 로봇에 대한 정보를 수집할 수 있다. 수집된 정보들을 바탕으로 싱글 로봇의 작업 공간을 재설정함으로써 싱글 로봇의 효율성을 극대화 하고, fault-tolerance 기능을 제공함으로써 멀티 로봇 시스템의 효율성 및 신뢰성을 확보하였다.

## 참고문헌

[1] Dirk Hahnel, Dieter Fox, Ken Fishkin "Mapping and Localization with RFID Technology "Proc. IEEE int.

Conf. on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 1015-1020, 2004

- [2] Yu Zhou, Member, IEEE, Wenfei Liu, and Peisen Huang., "Laser-activated RFID-based Indoor Localization System for Mobile Robots" 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy. 10-14 April 2007
- [3] HyungSoo Lim, ByoungSuk Choi and JangMyung Lee., "An Efficient Localiztion Algorithm for Mobile Robots based on RFID System" SICE-ICASE International Joint Conference, Oct. 18-21, 2006 in Bexco, Busan, Korea
- [4] Alexander Kleiner and Johann Prediger and Bernhard Nebel., "RFID Technology-based Exploration and SLAM for Search and Rescue" International conference on Intelligent Robots and Systems October 9-15, 2006, Beijing, China
- [5] Kho Hao Yuan, Ang Chip Hong, Marcelo Ang, Goi Sio Peng., "UnManned Library: An Intelligent Robotic Books Retrieval & Retrun System Utilizing RFID Tags" 2002 IEEE SMC TA2R1
- [6] Vladimir Kulyukin, Chaitanya Gharpure, Jhon Nicholson., "RoboCart : Toward Robot-Assisted Navigation of Grocery Stores by the Visually Impaired" IEEE 2-6 Aug. 2005
- [7] Maxim A. Batalin and Gaurav S.Sukhatme., "Using a Sensor Network for Distributed Multi-Robot Task Allocation", International Conference on Robotics and Automation pp.158-164, New Orleans, LA, April 26 - May 1, 2004
- [8] Jijun Wang, Michael Lewis., "Human Control for Cooperating Robot Teams", ACM, March 8-11, Virginia, USA, 2007