

운용 효율성 극대화를 위한 RFID 기반 멀티 로봇 관리 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 Multi-Robot Management System for Maximizing Operational Efficiency

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 운용을 넘어 전체적인 공간탐색 효율 극대화 및 넓은 공간에서 싱글 로봇간의 중복적인 공간 탐색을 최소화하기 위한 자동화된 멀티 로봇 운용 기법은 중요한 연구 주제로 부각되고 있다. 멀티 로봇을 효율적으로 운용하기 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 홈로봇(home robot)과 RFID 시스템을 이용한 멀티 로봇 운영 기법을 제안한다. 제안한 시스템은 로봇들의 Localization, Navigation 및 Mapping을 효율적으로 수행하기 위해 RFID를 활용하고 최적의 공간 할당을 위하여 홈로봇이 각각의 싱글 로봇을 효율적으로 관리한다. 제안된 멀티 로봇 시스템은 싱글 로봇 시스템과 비교하여 시스템 운영의 효율을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 각 싱글 로봇의 상태와 주변 상태를 고려한 fault-tolerance를 제공함으로써 로봇 운용의 신뢰성을 보장할 수 있다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템과 기존 시스템들을 비교하고 제안한 시스템의 효율성을 입증하였다.

1. 서론

넓은 공간에서 공간 탐색을 위해 멀티 로봇을 운용하는 기법은 로봇 연구의 중요한 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 RFID 시스템을 활용한 멀티 로봇 관리 시스템을 제안한다. 본 시스템에서는 홈로봇을 이용하여 전체적인 멀티로봇을 관리한다. 홈로봇은 중앙 서버 역할을 담당하며 각각의 로봇에게 업무를 할당하고 각 싱글 로봇들은 자신이 할당 받은 지역만을 책임지고 처리하도록 설정된다. 또한, 홈로봇은 동적 공간 재할당을 수행함으로써 로봇들간의 중복 탐색을 최소화하는 역할을 한다. 만약 주변 환경의 문제로 각 싱글 로봇에 문제가 발생하거나 로봇의 오류 발생 및 작업 시간이 지연된다고 판명되는 경우 홈로봇은 작업을 완료하고 대기중인 싱글 로봇에게 메시지를 보내게 된다. 메시지를 받은 싱글 로봇은 탐색되지 않은 다른 지역의 RFID 태그를 인지하고 전체 탐색 작업이 완료되도록 탐색 되지 않은 공간을 동적으로 재할당 받는다. 이를 통해 멀티 로봇 시스템은 fault-tolerance를 보장하며, 멀티 로봇 시스템의 신뢰성을 확보한다.

2. 관련 연구

2.1. RFID

현재 로봇의 Localization 및 Navigation 을 위해 많은 센서들이 로봇에 부착되어 사용되고 있다. 그중 GPS를 이용한 많은 연구가 진행중에 있고, 현재의 GPS 기술은 높은 위치 정확성을 제공할 수 있다. 하지만, GPS는 실내 환경에서 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있어 실내 환경에서의 사용이 어려운 실정이다.

현재 실내에서의 Localization 및 Navigation 기법을 위해 RFID가 많이 연구되고 있다[1]. RFID시스템을 이용하여 특정한 거리내의 태그 정보를 인식할 수 있으며, 최근 RFID의 태그 가격이 낮아지고 그 정확성으로 인해 로봇에 부착하여 많은 관련 연구에 사용되고 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.

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[2]. 기존의 도서 관리 담당자를 대신할 수 있는 도서 관리 시스템이 RFID를 이용하여

제시되었다. 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[3].

천장에 달린 태그의 빛을 3차원 비전 장치로 인식하여 RFID 태그를 찾고 인식된 태그 정보를 바탕으로 로봇의 정확한 위치를 찾을 수 있다[4]. 또한, 빛을 활용한 기법이 기 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[5].

2.2 멀티 로봇

최근 멀티 로봇 운용 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 공간 탐색, 물체 이동 등을 위한 효율적인 업무 할당은 중요한 이슈가 되고 있다.

중앙 센서 네트워크를 이용해 각각의 싱글 로봇이 반응할 수 있는 기법이 제시되었다. 중앙 센서는 각각의 싱글 로봇에게 명령을 하는 역할을 하고 각 싱글 로봇은 주어진 명령에 맞게 작동하게 된다.

중앙 센서 없이 각기 다른 기능을 가지는 로봇들이 탐색 작업을 수행하는 시스템은 [6]에서 볼 수 있다. 멀티 로봇 시스템에서 각 싱글 로봇들은 정보를 서로 공유하며 각각의 기능들로 탐색 작업을 하게 된다. 사용자가 로봇을 직접 관리하거나 각각의 자율적인 탐색을 할 수 있지만 사용자가 직접 개입하지 않을 경우 로봇간의 충돌 및 중복 탐색이 발생할 수 있다. 현재까지 완전히 자동화된 멀티 로봇 관리 기법은 제시되지 않았으며, 사용자가 개입하지 않고, 멀티 로봇 간의 충돌 및 탐색 시간을 최소화 하는 기법이 요구되고 있다.

3. RFID 기반 멀티 로봇 시스템

본 논문에서 제안한 RFID 기반 멀티 로봇 관리 시스템은 RFID를 활용하여 싱글 로봇들의 Localization 및 공간 할당을 수행함으로써 Mapping, Localization에 소요되는 비용을 최소화 한다. 각 싱글 로봇을 관리하는 홈로봇은 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 운영을 유도한다.

제안하는 시스템을 실내 청소 작업을 위한 멀티 로봇 관리 환경에 맞추어서 적용해 보았다.

3.1 싱글 로봇의 공간 할당

그림 1은 RFID 태그를 바닥에 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.

RFID 태그 정보 내에는 각각의 고유한 태그 ID 정보가 저장 되어 있다. 홈로봇은 RFID 태그 정보를 바탕으로 각 싱글 로봇에게 각각의 작업 공간을 나타낼 수 있는 mini map을 제공한다. 뿐만 아니라, 홈로봇을 이용하여 주행중인 로봇의 상태를 주기적으로 파악하여 fault tolerance를 제공할 수 있다. 각 싱글 로봇은 자신의 범위 안에 있는 태그의 ID를 리더기로 읽어 들인 뒤 태그 ID를 데이터베이스에 있는 map 정보(좌표 정보)와 비교/검색한 후 검색된 정보를 바탕으로 자신의 위치정보를 확인한다.

각 싱글 로봇은 청소 작업이 시작되는 순간 자신에게 할당된 구역을 mini map 형식으로 홈로봇에게 전달 받으며, mini map에는 현재 자신에게 할당된 지역을 제외한 지역은 장애물로 인지하도록 설정된다. 이를 토대로 싱글 로봇은 태그 정보를 순차적으로 읽어 나가며 자신이 할당 받은 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 할당 받은 지역으로 복귀한다. 이로 인해 RFID 태그가 부착된 환경에서 로봇들은 자신이 할당받은 공간만을 탐색하는 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 홈로

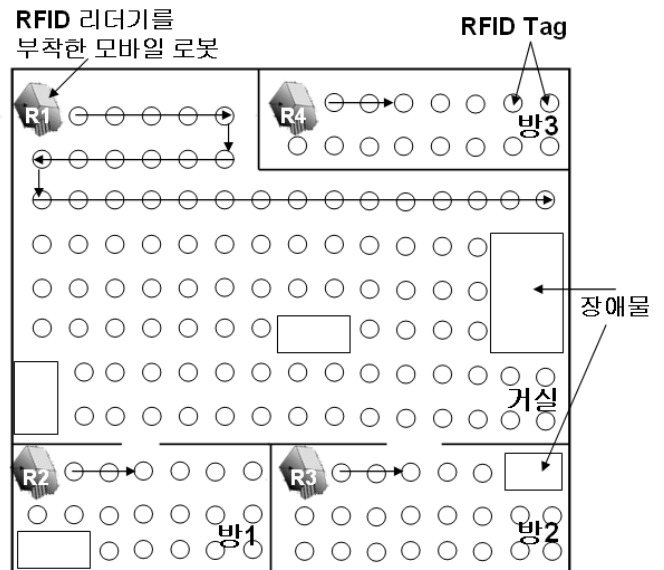


그림 1 RFID에 기초한 작업 환경

봇에게 보고하며 홈로봇은 청소 작업을 완료한 로봇을 인지한다. 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 멀티 로봇 관리 시스템을 위한 고장 허용 기법

로봇의 청소 작업 중 다양한 로봇의 오류가 발생할 수 있다. 여러 센서를 이용하여 로봇의 주행에 방해가 되지 않도록 많은 연구가 진행되고 있지만 현 시점에서 개발된 로봇이 인간처럼 완벽한 이동을 하기에는 어려움이 있다. 가령, 계단을 인지하지 못하거나, 장애물에 걸려 한곳에 오래 머물러 있다거나, 테이블 다리를 통과하지 못하는 등의 여러 환경적인 요소로 인하여 로봇이 주행 불능 상태가 될 수 있다. 이러한 경우 로봇에 부착된 센서들로 상황을 인지하고 문제를 해결하기에는 한계가 존재한다. 이러한 이유로 각 싱글 로봇간의 주기적인 통신과 데이터 전송으로 문제점을 해결해야 하는 기법이 필요하다.

크게 2가지 요소로 인해 로봇에 오류가 발생했음을 판단할 수 있다. 첫 번째로, 싱글 로봇이 홈로봇과의 통신적인 문제가 있는 경우 로봇에 예러가 발생했다고 볼 수 있다. 이러한 경우 홈로봇은 계속적으로 통신 장애가 있는 싱글 로봇과 통신을 시도하고 일정 시간동안 통신 연결이 이루어지지 않을 경우 고장이라 판단하고 고장이 발생한 로봇의 주행공간을 나머지 싱글 로봇들에게 재할당 하여 탐색작업을 계속 수행토록 한다.

두 번째로, 특정 싱글 로봇이 통신 문제가 발생하지 않았지만 장시간 이동(주행) 하지 못하는 기계적 오류 혹은 주행 불능 상태일 경우 역시 로봇에 오류가 발생했다고 분류할 수 있다. 이러한 경우 문제가 발생한 싱글 로봇과 홈로봇과의 주기적인 통신을 통해 홈로봇 이 문제점을 확인하고, 문제가 발생한 로봇이 탐색했던 태그 ID 정보를 백업 받아야 한다. 또한 주행 하지 못한 공간을 다른 로봇들이 탐색할 수 있도록 근접한 로봇들의 공간 재할당 작업이 이루어진다.

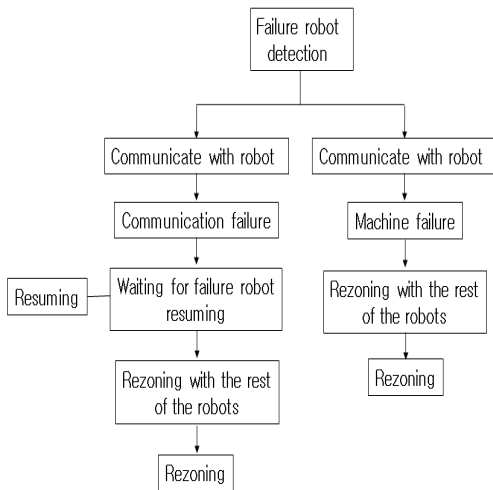


그림 2 fault tolerance 알고리즘

로봇의 고장 여부를 판단하기 위한 멀티 로봇 알고리즘은 그림 2와 같다. 홈로봇은 주기적으로 다른 로봇과의 통신을 하게 된다. 만약 싱글 로봇의 주행 불능 혹은 통신 불능 상태임을 홈로봇이 파악하면, 홈로봇은 주행 불능 로봇의 맵을 백업받아 정상주행을 하는 싱글 로봇들에게 재할당 작업을 수행하여 fault tolerance 를 보장한다..

3.3 작업 환경에 따른 작업 공간의 동적 재할당

RFID 기반 청소 멀티 로봇 관리 시스템에서 시스템 전체를 관리하는 홈로봇은 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. 홈로봇은 실시간으로 싱글 로봇들을 체크함으로써 작업 완료된 싱글 로봇과 지연되는 싱글 로봇을 파악하게 된다. 작업이 지연되는 로봇이 읽어 들인 최신의 태그 정보를 홈로봇이 관리하며, 이 정보를 바탕으로 작업이 완료되지 않은 남은 공간을 인지한다. 완료되지 않은 청소 공간은 청소 작업을 완료하고 대기중인 싱글 로봇에게 할당함으로써 그림 3과 같이 동적으로 로봇들의 공간할당이 새롭게 이루어진다.

그림 3에서는 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 홈로봇이 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 홈로봇은 각 싱글 로봇들의 작업 완성도 및 이동 거리, 싱글 로봇의 작업 효율성 등을 고려하여 재할당될 공간을 적합한 싱글 로봇에게 동적으로 재할당한다. 홈로봇은 작업 공간 재할당을 수행함으로써 멀티 로봇 시스템에서의 작업 효율의 극대화를 추구할 수

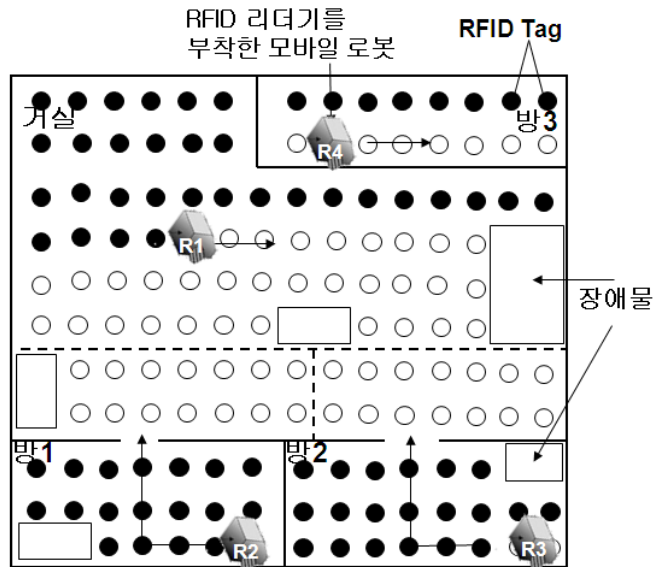


그림 3 새로운 공간을 할당 받은 로봇의 이동 방향

있으며 각 싱글 로봇들의 효율적인 운용이 가능하게 된다. 다수의 로봇이 새롭게 공간 할당을 수행할 때에는 남은 공간을 균등하게 분배할 수 있도록 홈로봇이 로봇들을 관리 하게 된다. 이런 실시간 공간 재설정을 함으로서 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.

4. 실험 및 성능 평가

RFID 기반 멀티 로봇 시스템의 성능을 측정하기 위해 JAVA 기반의 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 최대 4대의 싱글 로봇을 사용하였으며, 홈로봇은 각 싱글 로봇의 세부 정보를 실시간으로 파악하는 것으로 가정하였다. 또한 시뮬레이션은 그림 1과 같은 RFID에 기초한 환경이 설정되었으며, 환경의 총 면적은 가로 세로 28m 이고 총 100개의 태그가 환경에 부착되었다.

본 논문에서는 싱글 로봇, 자율 주행 멀티 로봇, 공간 동적 재설정 멀티 로봇을 가지고 특정한 환경 내에서의 공간 탐색 소요 시간을 비교해 보았다.

싱글 로봇은 하나의 로봇으로 전체 공간의 탐색 작업을 수행하며 자율 주행 멀티 로봇은 관리 시스템 없이 로봇들의 자율주행을 통해 모든 로봇이 전체 탐색 공간의 작업을 마친 시점을 계산한다. 제안한 시스템 상의 멀티 로봇은 초기 공간 할당 뒤, 작업 환경에 따른 작업 공간을 홈로봇을 통하여 동적으로 재할당 받는 기법을 적용하였다

세 가지 경우에 대해 실험 평가하였으며, 그 결과는 <표1> 과 같다.

	싱글 로봇	자율 주행 멀티 로봇	제안한 시스템의 멀티 로봇
10분 내의 공간 탐색율	22%	47%	71%
전체 탐색 소요시간	45 min	31 min	18 min
중복 탐색율		46 %	8 %

<표1> 시뮬레이션 결과

<표 1> 에서 보는 것과 같이 싱글 로봇보다 자율 주행 멀티 로봇, 자율 주행 멀티 로봇보다 공간 동적 재설정 멀티 로봇 시스템을 이용하여 탐색 작업을 수행하는 것이 전체 탐색 시간 및 중복 탐색율을 줄이는 효과를 내는 것을 확인할 수 있다.

전체 탐색 소요시간의 경우를 본다면 전체 탐색 시간이 싱글 로봇에 비해 멀티 로봇의 경우가 총 탐색 작업

소요 시간이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 중복 탐색율을 통해 자율 주행 멀티 로봇보다 제안한 시스템을 사용한 멀티 로봇의 경우가 중복 탐색율을 크게 줄이는 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, 홈로봇을 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]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.
- [3] Vladimir Kulyukin, Chaitanya Gharpure, Jhon Nicholson., "RoboCart : Toward Robot-Assisted Navigation of Grocery Stores by the Visually Impaired" IEEE 2-6 Aug. 2005.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Jijun Wang, Michael Lewis., "Human Control for Cooperating Robot Teams", ACM, March 8-11, Virginia, USA, 2007.