韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第13卷 第6號, 2008. 11.

2008-13-6-1-2

실내 환경에서 운영 가능한 RFID 기반 멀티 로봇 관리 시스템

안 상 선*, 신 성 욱*, 이 정 욱**, 백 두 권***

A RFID-Based Multi-Robot Management System Available in Indoor Environments

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

요 약

오늘날 멀티 로봇에 대한 연구는 단순한 싱글 로봇들의 효율적인 운영을 넘어 공간탐색의 효율성 극대화 및 넓은 공간에서 각 로봇간의 중복작업 및 충돌 회피를 위한 부분에 집중되어 있다. 이러한 멀티 로봇을 효율적으로 운영하기 위해서는 각 싱글 로봇을 제어하고 효율적으로 작업을 할당 할 수 있는 관리체계가 필요하다. 이에 본 논문에서는 RFID를 기반으로 각 싱글로봇의 탐색공간을 효율적으로 할당함으로서 싱글로봇간의 중복 탐색을 최소화 할 수 있는 멀티로봇관리시스템을 제안한다. 또한, 탐색 작업의 완료 보장과 탐색 성능의 향상을 위하여 장애가 발생한 싱글 로봇을 탐지하고 대체 할 수 있는 고장 허용 기법을 제안한다. 제안한 시스템에서는 정확한 위치 파악이 힘들었던 기존 중앙 서버의 단점을 RFID 시스템과 홈로봇을 활용하여 극복하였다. 지정된 홈로봇은 각각의 싱글 로봇을 효율적으로 관리하며, RFID 태그의 위치 정보를 활용하여 각 싱글로봇에게 최적의 탐색 공간을 할당 한다. 제안하는 멀티로봇 관리 시스템은 공간 할당, 위치 추정 기법, 맵 생성 기법(Localization및 Mapping)을 효율적으로 수행하기 위해 RFID를 기반으로 하며, 싱글 로봇 시스템과 비교하여 시스템 운영의 효율을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 각 싱글 로봇의 상태와 주변 상태를 고려한 고장 허용(fault tolerance)을 제공함으로써 로봇 운영의 신뢰성을 보장할 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템을 적용한 멀티로봇 시스템과 기존의 멀티로봇 시스템의 탐색 소요시간 및 중복 탐색율을 비교하여 제안한 시스템의 효율성을 입증하였다.

Abstract

The multi robot operation technique has emerged as one of the most important research subjects that focus on minimizing redundancy in space exploration and maximizing the efficiency of operation. For an efficient operation of the multi robot systems, the movement of each Single robot in the multi robot systems should be properly observed and controlled. This paper suggests Multi Robot Management System to minimize redundancy in space exploration by assigning exploration space to each robot efficiently to take advantage of the RFID. Also, this paper has suggested fault tolerance technique that detects disable Single robot and substitute it by activated Single robot in order to ensure overall exploration and improve efficiency of exploration. Proposed system overcomes previous fault that it is difficult for central server to detect exact position of robot by using RFID system and Home Robot. Designated Home robot manages each Single robot

• 제1저자 : 안상선 교신저자 : 백두권
• 접수일 : 2008. 8. 14, 심사일 : 2008. 8. 22, 심사완료일 : 2008. 11. 26.
* 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 ** 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 교수
*** 고려대학교 컴퓨터 전파통신공학과 교수
※ 본 연구에 참여한 연구자는 '2단계 BK21' 사업의 지원을 받았음.

www.kci.go.kr

efficiently and assigns the best suited space to Single robot by using RFID Tag Information. Proposed multi robot management system uses RFID for space assignment, Localization and Mapping efficiently and not only maximizes the efficiency of operation, but also ensures reliability by supporting fault-tolerance, compared with Single robot system. Also, through simulation, this paper proves efficiency of spending time and redundancy rates between multi robot management applied by proposed system and not applied by proposed system

▸ Keyword : 멀티로봇(Multi-Robot), RFID System(RFID System), 공간탐색(Space Exploration), 홈로봇(Home Robot), 로봇관리(Robot Management)

Ⅰ. 서 론

넓은 공간에서의 물체탐색, 희생자 구조, 청소 등의 업무를 위해 로봇을 활용하여 공간을 탐색하는 기법은 로봇 연구의 중요한 이슈가 되고 있다. 하지만 넓은 공간에서 단일 로봇을 이용하여 탐색을 하는 것은 탐색 소요 시간 증가, 장애 복구의 어려움 등의 한계가 발생하며, 이에 멀티 로봇을 운영하여 넓은 공간을 탐색하는 것이 보다 효율적이다.

멀티 로봇을 운영하여 공간을 탐색할 시 각 로봇간의 중복적인 공간 탐색으로 인한 효율 저하, 로봇 간의 충돌 발생, 멀티 로봇 관리를 위한 유저 개입 등의 한계가 발생하며 이를 해결하기 위한 자동화된 멀티 로봇 관리기법은 중요한 연구 주제로 부각되고 있다.

본 논문에서는 RFID(Radio Frequency Identification) 기반 멀티로봇 관리 시스템을 제안한다. 로봇에게 기 설정된 RFID 정보에 기반한 탐색 공간을 할당함으로서 싱글로봇간의 중복탐색을 최소화할 수 있는 기법을 제시하고 공간 탐색 완료와 탐색 시간의 향상을 위한 고장 허용 기법을 제시한다.

본 시스템에서는 홈로봇(Home Robot)을 이용하여 전체적인 멀티로봇을 관리한다. 기존의 멀티 로봇을 관리 하는 중앙 서버의 역할은 싱글 로봇중 하나의 로봇을 홈로봇으로 지정하여 수행한다. 지정된 홈로봇은 각각의 싱글 로봇을 효율적으로 관리하며, 각 싱글로봇에게 최적의 공간 할당을 한다. 또한, 홈로봇은 탐색을 마친 비활성화된 로봇과, 장애가 발생한 로봇을 탐지하여 동적 공간 재할당을 수행함으로써 전체적인 공간 탐색을 가능하게 한다. 만약 주변 환경의 문제로 각 싱글 로봇에 문제가 발생하거나 로봇의 오류 발생 및 작업 시간이 지연된다고 판명되는 경우 홈로봇은 작업을 완료하고 대기 중인 싱글 로봇에게 메시지를 보내게 된다. 홈로봇은 장애가 발생한 로봇이 탐색하지 못한 다른 지역의 RFID 태그를 인지하고 전체 탐색 작업이 완료되도록 탐색되지 않은 공간을 메시지를 받은 싱글 로봇에게 재할당 한다. 이를 통해 멀티 로봇 시스템은 고장 허용을 보장하며, 멀티 로봇 시스템의 신뢰성을 확보한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티로봇과 RFID시스템에 관련된 연구 분야에 대해 소개한다. 3장에서는 통신 및 RFID에 기반한 멀티 로봇 시스템의 아키텍처를 소개하고, 또한 홈로봇 및 Working 로봇 에이전트(Agent)의 역할에 대해서 설명한다. 4장에서는 RFID에 기반한 멀티 로봇 중복 최소화 방안을 소개하고, 5장에서는 고장 허용 기법에 대해 설명한다. 6장에서는 본 논문에서 제시하는 멀티 로봇 관리 시스템의 성능 평가를 하고, 제안한 시스템의 효율성을 입증한다. 7장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1. RFID(Radio Frequency Identification)

현재 로봇의 위치 추정 기법 및 네비게이션을 위해 많은 센서들이 로봇에 부착되어 사용되고 있다. 그중 GPS(전역 위치 시스템)를 이용한 많은 연구가 진행 중에 있고, 현재의 GPS 기술은 높은 위치 정확성을 제공할 수 있다. 하지만, 실내 환경에서는 전파투과의 문제로 GPS를 실내 환경에서 사용하기는 어려운 실정이다.

현재 실내에서의 위치 추정, 네비게이션 및 맵 생성 등의 기법을 위해 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경에서 필수적인 기술로 떠오르는 RFID가 많이 연구되고 있다. RFID시스템이란 각종 사물에 RFID 태그를 부착해 태그 내에 있는 정보와 주변 환경정보를 무선 주파수로 전송 · 처리하는 비접촉식 인식시스템으로, RFID는 크게 수동형 태그와 능동형 태그로 나눌 수 있다[1,2]. 수동형 태그는 태그의 동작을 위한 전원을 모두 외부에 의존하는 반면, 능동형 태그는 자체 배터리를 내장하고 있다.

RFID기술은 비접촉방식으로 많은 양의 정보를 주고받을 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

www.kci.go.kr

내에 있는 태그 정보를 읽음으로서 사물 및 환경 인식이 가능하게 된다. 태그로부터 얻어진 정보들을 기초로 로봇의 위치 추정 및 사물 정보 추출 등이 가능하게 되어 RFID 환경은 로봇에게 더 많은 기술적 이점을 제공해 줄 수 있다[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]. 기존의 도서 관리 담당자를 대신할 수 있는 도서 관리 시스템이 RFID를 이용하여 제시되었다[5]. 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].

천장에 달린 태그의 빛을 3차원 비전 장치로 인식하여 RFID 태그를 찾고 인식된 태그 정보를 바탕으로 로봇의 정확한 위치를 찾을 수 있다[7]. 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[8,9].

2.2 멀티 로봇

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

중앙 무선 센서 네트워크를 활용한 멀티로봇 태스크 할당(MRTA)기법을 이용해 각각의 싱글 로봇이 반응할 수 있는 기법이 제시되었다[10]. 중앙 센서는 각각의 싱글 로봇에게 명령을 하는 역할을 하고 각 싱글 로봇은 주어진 명령에 맞게 작동하게 된다. 물론 중앙 센서를 통해 기능을 분담하는 것이 가능하지만, 현재까지의 MRTA(Multi-Robot Task Allocation)기법은 공간적 시간적으로 완벽하게 로봇의 움직임을 파악하기에 어려움이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 MRTA기법에서 이용하고 있는 중앙 센서에 의존하지 않고 로봇 스스로 공간을 할당 및 탐색할 수 있는 기법이 필요하다.

중앙 센서 없이 각기 다른 기능을 가지는 로봇들이 탐색 작업을 수행하는 시스템도 볼 수 있다[11,12]. 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 사용자가가 직접 개입하지 않을 경우 로봇간의 충돌 및 중복 탐색이 쉽게 발생하여 효율이 현저하게 떨어지게 된다. 현재까지 완전히 자동화된 멀티 로봇 관리 기법은 제시되지 않았으며, 사용자가 개입하지 않고, 멀티 로봇 간의 충돌 및 탐색 시간을 최소로 하는 기법이 요구되고 있다.

III. RFID 기반 멀티 로봇 시스템

3.1. 통신 기반 멀티 로봇 아키텍처

〈그림1〉 은 통신 기반 멀티 로봇을 위한 분산된 에이전트 모델 아키텍처(Distributed Agent Model Architecture)를 나타낸다. 각각의 로봇을 하나의 에이전트(Agent)로 분류할 수 있다. 제안하는 통신 기반의 멀티 로봇 에이전트는 5개의 소프트웨어 모듈과 3개의 하드웨어 시스템으로 이루어진다.

3.1.1 하드웨어 아키텍처

1) RFID 리더 시스템(RFID Reader System)

하나의 로봇은 각각의 RFID 리더기를 가지고 있고, RFID 리더기를 이용하여 환경에 부착된 태그 ID의 정보를 얻을 수 있다. 로봇으로부터 특정한 거리 내에 배치되어 있는 태그의 ID 정보를 얻는다. 리더기의 성능에 따라 태그 인지 거리가 확대대거나 줄어들 수 있다.

2) 제어 시스템(Control System)

실제 로봇을 구동시키고 움직이는 부분으로 네트워크 시스템과 입력 받은 태그의 처리에 의해 로봇의 탐색 방향 및 방향의 제어가 결정된다.

3) 네트워크 시스템(Network System)

로봇간의 통신이 이루어지게 하는 장치이며, 로봇들 간의 원활한 정보공유와 고장허용 체크를 가능하게 한다.

3.1.2 소프트웨어 아키텍처

1) 태그 정보 처리 모듈(Process Tag Information Module)

RF 리더기를 이용하여 얻어진 태그 ID 정보와 미리 할당받은 미니맵(mini map)의 데이터베이스(Database) 정보를 비교하여 자신의 위치를 파악할 수 있게 된다. 또한 타 로봇에게 할당된 공간을 잘못 탐색하고 있는지, 타 로봇이 이미 탐색한 공간인지를 RFID 태그 정보를 읽음으로서 파악할 수 있다. 이렇게 자신이 할당받은 공간을 정상적으로 탐색하고 있는 지를 파악하여, 그에 맞는 로봇의 탐색 방향 및 이동이 결정되는데, 로봇의 움직임을 가능하게 하는 시스템은 제어 시스템(Control System)에 의해 이루어진다.

2) 행동 제어 모듈(Action Control Module)

로봇 주행 및 탐색의 자동화를 가능하게 해주는 모듈로, 행

www.kci.go.kr

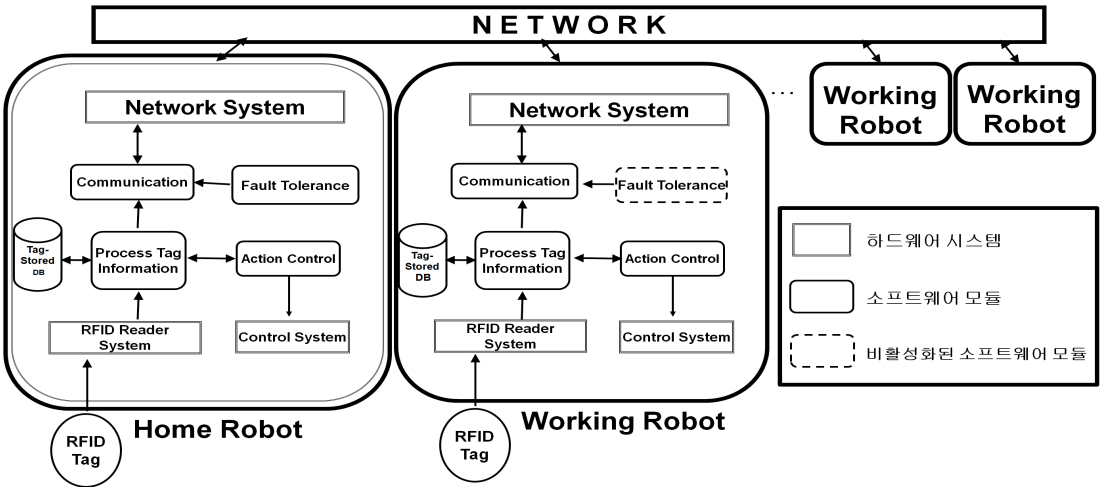


그림 1. 통신 기반 멀티 로봇 아키텍처
Fig 1. Communication-Based Multi Robot Architecture

동 제어 모듈에 의해 로봇 에이전트의 위치 및 속도를 결정지을 수 있다.

3) 통신 모듈(Communication Module)

로봇의 통신을 담당하는 모듈이다. 홈로봇과 Working 로봇 간의 주기적인 통신으로 인해 홈로봇이 Working 로봇의 장애 발생 여부, 탐색 공간 및 탐색 범위 등을 알 수 있다. Working 로봇 역시 홈로봇과의 주기적인 통신으로 인해 충돌을 방지할 수 있고, 공간 할당 및 재할당 작업을 수행할 수 있다.

4) 고장 허용 모듈(Fault Tolerance Module)

홈로봇은 고장 허용 모듈을 통하여 각 Working 로봇의 장애 여부를 탐지하게 된다. 통신장애 또는 주행 장애로 인해 로봇에 장애가 발생하면, 장애 발생 로봇의 태그 ID 정보를 백업받고 장애발생로봇의 탐색공간을 다른 Working 로봇들에게 재할당함으로써 장애가 발생한 로봇을 대체 한다.

3.2. 멀티 로봇 에이전트

〈그림 1〉에서처럼, 로봇 에이전트는 홈로봇과 Working 로봇으로 구분된다. 여러 싱글로봇 중 하나의 로봇이 홈로봇으로 지정되며 고장 허용 모듈이 활성화된다. 홈로봇을 제외한 다른 싱글 로봇은 그림의 점선으로 표시된 것과 같이 고장 허용 모듈은 비활성화되게 된다.

모든 싱글로봇은 고장 허용 모듈을 가지고 있으므로, 홈로봇에 장애가 발생할시 다른 싱글 로봇이 홈로봇을 대체할 수 있고, 마찬가지로, 어떠한 싱글 로봇도 홈로봇이 될 수 있는 후보로봇이 된다.

1) 홈로봇 에이전트

멀티 로봇 중에 홈로봇으로 지정된 로봇은 다른 로봇과 마찬가지로 기본적인 탐색 업무를 하게 된다. 뿐만 아니라, 다른 Working 로봇들과 주기적으로 통신하며 정상주행중인 로봇과 장애가 발생한

로봇을 네트워크를 통해 판단한다. 만약 장애가 발생한 로봇을 판단한다면, 정상주행 중인 멀티 로봇에게 통보하고, 비활성화된 로봇에게 재할당을 하여 잔여 공간을 탐색하게 한다.

2) Working 로봇 에이전트

정상적인 탐색 업무를 수행함은 물론, 홈로봇과 통신하며 heartbeat signal 메시지를 홈로봇에게 보내게 된다. heartbeat signal 메시지를 통해 홈로봇은 Working 로봇들의 통신장애 여부를 판단하게 된다.

Ⅳ. 멀티 로봇 중복탐색 최소화 방안

본 논문에서 제안한 RFID 기반 멀티 로봇 관리 시스템은 RFID를 활용하여 싱글 로봇들의 위치 추정 및 공간 할당을 수행함으로써 맵 생성과 위치 추정에 소요되는 비용을 최소화한다. 각 싱글 로봇을 관리하는 홈로봇은 작업 초기에 각 싱글 로봇들이 담당할 공간을 설정하며 주기적으로 각 싱글 로봇의 상태 및 작업 공간의 환경정보를 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.

www.kci.go.kr

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

4.1 싱글 로봇의 공간 할당

〈그림 2〉는 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 2〉에서 각 로봇, R1, R2, R3, R4 는 RFID 태그 정보를 순차적으로 읽어나가며 청소 작업을 수행하게 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 미니맵(mini map)을 제공할 뿐만 아니라, 홈로봇을 이용하여 주행 중인 로봇의 상태를 주기적으로 파악하여 고장 허용을 제공할 수 있다. 각 싱글 로봇은 자신의 범위 안에 있는 태그의 ID를 리더기로 읽어 들인 뒤 태그 ID를 데이터베이스에 있는 미니맵 정보(좌표 정보)와 비교/검색한 후 검색된 정보를 바탕으로 자신의 위치정보 및 탐색 공간을 확인하고 기록한다.

각 싱글 로봇은 청소 작업이 시작되는 순간 자신에게 할당된 구역을 미니맵 형식으로 홈로봇에게 전달 받으며, 미니맵에는 현재 자신에게 할당된 지역을 제외한 지역은 장애물로 인지하도록 설정된다.

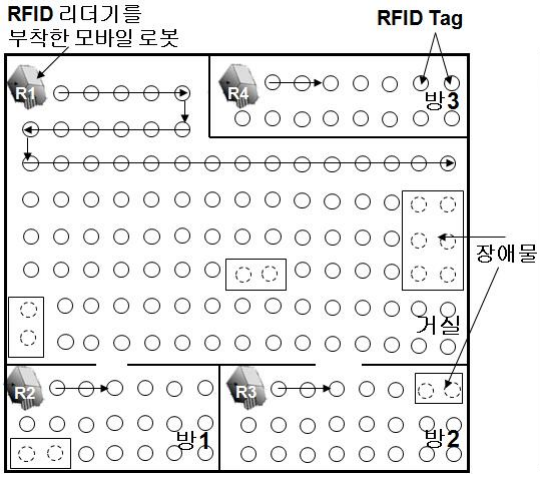


그림 2. RFID에 기초한 작업 환경
Fig 2. RFID-Based Environments

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 간주하여, 잘못된 이동 경로를 인지한 데이터를 기준으로 다시 자신이 할당받은 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 홈로봇에게 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.

〈그림 2〉의 초기 환경은 벽과 같은 특정한 장애물에 의해 전체 공간이 나누어져 있는 경우 사용자의 설정으로 인해 홈로봇이 그림과 같이 공간을 할당하게 되며, 벽과 같은 특정한 장애물에 대한 정보는 초기에 주어진다. 그러나 기타 장애물은 로봇의 탐색 과정을 통해 발견되게 된다.

V. 멀티 로봇 관리 시스템을 위한 고장 허용 기법

5.1 고장 허용 기법 알고리즘

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 고장 허용 기법이 필요하다[13-15].

크게 2가지 요소로 인해 로봇에 오류가 발생했음을 판단할 수 있다. 첫 번째로, 싱글 로봇이 홈로봇과의 통신적인 문제가 있는 경우 로봇에 에러가 발생했다고 볼 수 있다. 이러한

www.kci.go.kr

경우 홈로봇은 계속적으로 통신 장애가 있는 싱글 로봇과 통신을 시도하고 일정 시간동안 통신 연결이 이루어지지 않을 경우 싱글 로봇에 통신 장애가 있다고 판단한다. 장애가 발생한 로봇이 탐색했던 태그 ID 정보를 백업받고, 로봇의 주행공간을 나머지 싱글 로봇들에게 재할당 하여 탐색작업을 계속 수행하도록 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 홈로봇이 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.

로봇의 고장 여부를 판단하기 위한 멀티 로봇 알고리즘은 〈그림 3〉과 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 탐색 공간 재할당 작업을 수행하여 고장 허용을 보장한다.

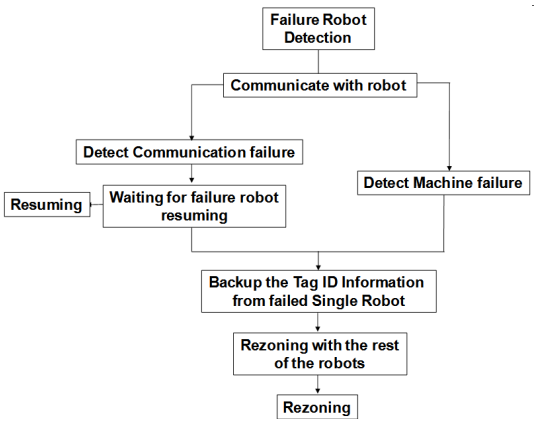


그림 3. 고장 허용 기법 알고리즘
Fig 3. Fault Tolerance Algorithm

홈로봇 역시 실내 공간에서 주행 작업을 수행하는 중에 통신 혹은 기계적 오류가 발생할 수 있다. 이렇게 홈로봇에 문제가 지속되어 홈로봇의 주행은 물론, 다른 싱글로봇들도 관리 할 수 없는 상황을 대비해 멀티 로봇 중에 하나를 후보로봇으로 지정한다. 지정된 후보로봇은 주기적으로 홈로봇의 정보를 백업받아야 한다. 홈로봇 역시 로봇들의 고장에 대비하여 각 로봇들에 대한 백업작업이 이루어진다.

5.2 통신 장애 탐지 기법

본 논문에서는 SNS(Supervisor-based Network Surveillance) scheme를 이용하여 다양한 통신 장애를 탐지한다[16]. 홈로봇은 싱글로봇들과 주기적으로 통신하며 싱글로봇의 통신에 장애가 없는지 탐지한다. 또한 싱글로봇에 이상이 발견된다면 정상적으로 주행 중인 로봇들에게 통신 장애 로봇에 대한 사실을 알리게 된다.

이를 위해 홈로봇은 주기적으로 싱글로봇들과 heartbeat signal 메시지를 주고받으며, 만약 일정기간이 지났음에도, heartbeat signal 메시지를 받지 못했을 때, 싱글 로봇에 장애가 있는지를 판단한다.

만약 수식(1)의 시간 동안 싱글로봇으로부터 heartbeat signal 메시지를 받지 못했다면 홈로봇은 싱글로봇에 통신 장애가 있다고 판단한다.

$$\pi + 2 * TRANS + 3 * (MIT + MNT) + MOT \quad \cdots\cdots (1)$$

위의 수식(1) 시간동안 홈로봇이 heartbeat signal 메시지를 받지 못할 경우, 홈로봇은 싱글로봇의 통신장애가 발생했다는 것을 감지하고, 그 외의 싱글로봇들에게 통신장애가 발생한 로봇을 통보한다. 최대 수식 (2)의 시간 안에 홈로봇은 다수의 싱글로봇에게 고장을 인지하는 메시지를 전달한다.

$$\pi + 3 * (TRANS + MIT + MNT) + MOT + MCAST \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

여기서, TRANS(Maximum message transmission time)는 최대 메시지 전송 시간을 나타내고, MIT(Maximum Incoming Communication turnaround time)는 메시지가 수신되는 총소요시간을 나타낸다. MOT(Maximum Outgoing Communication turnaround time)는 발신 메시지를 보내는 총소요시간을, MCAST(Maximum message multicast time)은 총 로봇 노드에게 메시지를 전송하는 시간을 나타낸다. MNT(Maximum Network Surveillance turnaround time)는 홈노드 로봇이 메시지를 전송하고 기다리는 최대 소요시간을 π는 노드간의 heartbeat signal 메시지를 보내는 간격을 나타낸다.

5.3 로봇의 탐색 효율을 증가시키기 위한 공간 재할당

www.kci.go.kr

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. 이렇게 싱글 로봇과의 통신으로 얻어진 정보를 바탕으로 싱글 로봇들의 탐색 효율을 증가시키는 탐색 공간 재할당 작업을 수행할 수 있다. 재할당 작업을 수행하는 이유는 로봇의 대기 상태를 최소한으로 줄이고 로봇의 효율성을 높여 최소한의 시간 안에 전체 공간 탐색을 수행하는 것이다. 탐색 공간 재할당 작업은 아래와 같은 상황에서 발생할 수 있다.

1. 〈그림 4〉에서의 R1 로봇과 같이 장애물 또는 작업량이 많은 작업 환경을 할당받은 싱글 로봇의 청소 작업 완료 시간이 지연되는 경우 나머지 싱글 로봇을 이용하여 작업 공간 재할당.
2. 작업을 완료하고 대기 중인 로봇에게 아직 탐색되지 않은 공간을 재할당.
3. 로봇에 통신 에러가 발생했을 경우 홈로봇이 이를 파악하여 고장이 발생한 로봇이 할당받은 영역을 다른 로봇들에게 재할당.
4. 로봇에 주행 에러가 발생했을 경우 홈로봇이 이를 파악하여 고장이 발생한 로봇이 할당받은 영역을 다른 로봇들에게 재할당.

만약 싱글 로봇에 통신 장애가 발생하여, 홈로봇으로부터 식 (1)과 같이 설정된 시간 동안 heartbeat signal 메시지를 받지 못한 경우, 홈로봇은 물론 장애가 발생한 싱글 로봇 스스로도 통신장애를 인식하게 된다. 이러한 경우, 통신 장애 이후에 탐색한 공간은 홈로봇이 인지하지 못하기 때문에 전체 공간 탐색을 파악하기에 무의미한 탐색이 되어버린다. 이를 해결하기 위해 싱글 로봇이 초기 탐색 위치로 이동함으로서 무의미한 탐색 작업을 줄일 수 있으며, 또한 같은 공간을 재할당 받은 다른 싱글로봇과의 충돌을 방지할 수 있다.

홈로봇은 실시간으로 싱글 로봇들을 체크함으로서 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 대기 중인 싱글 로봇 에게 할당함으로서 〈그림 4〉와 같이 동적으로 로봇들의 공간할당이 새롭게 이루어진다.

〈그림 4〉에서는 다른 공간보다 넓은 공간을 할당받은 R1 로봇의 청소 작업이 지연되는 상황을 보여주고 있다. 그림에 RFID태그가 검은색으로 표시된 부분은 로봇에 의해 탐색되어진 영역을 의미한다. 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 있으며 각 싱글 로봇들의 효율적인 운영이 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 고장 허용 기능을 수행할 수 있다.

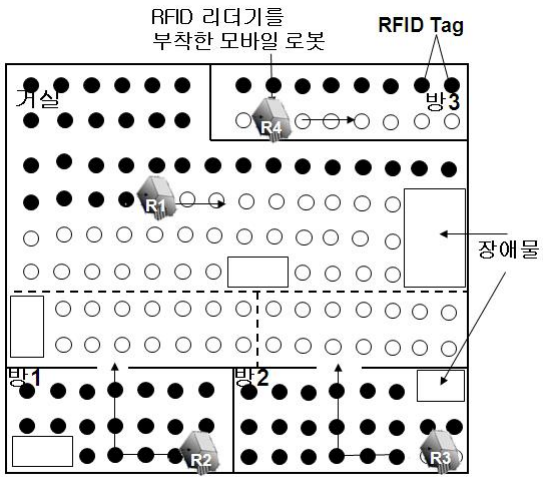


그림 4. 새로운 공간을 할당 받은 로봇의 이동 방향
Fig 4. Rezoning of the Work Area of the Robots

5.4 작업 환경 정보를 이용한 로봇의 공간 재할당

홈로봇이 싱글 로봇들에게 공간을 할당할 때 탐색 영역의 환경정보를 바탕으로 할당을 수행할 수 있다. 각 영역을 탐색하는 싱글 로봇은 할당 받은 영역에 대한 환경 정보를 기록하며 탐색작업을 수행한다. 또한, 싱글 로봇은 장애물이나 먼지량으로 인해 지연된 할당영역의 탐색 시간을 기록하게 된다.

www.kci.go.kr

홈로봇은 다시 로봇들에게 공간을 할당할시 이러한 싱글 로봇들의 공간에 대한 탐색 시간과 장애물과 같은 환경정보를 이용하여 로봇에게 공간을 할당하게 된다. 이러한 환경 정보를 바탕으로 싱글로봇에게 공간을 할당할 시 그전에 수행했던 할당작업보다 더 적합한 영역을 로봇에게 할당할 수 있으며, 로봇이 작업을 완료하고 대기 중인 상태를 최소화 시킬 수 있다. 환경 정보를 이용한 공간 할당을 수행할 시 공간할당을 수행하는 횟수가 증가할수록 전체 공간의 탐색 시간을 줄일 수 있다는 이점을 얻을 수 있다.

5.5 장애물 회피 기법

로봇의 탐색 작업을 방해하는 가장 큰 요소 중에 하나로 동적인 장애물을 들 수 있다. 현재 로봇의 장애물 회피 기법은 주로 다수의 센서들을 이용하여 구현된다. 특히 비전센서와 레이저 센서를 활용하거나, 동적 장애물의 이동 방향을 분석하여 장애물을 회피하기 위해 로봇의 이동 방향을 결정하는 방식이 사용된다. 그러나 다양한 연구에도 불구하고 완벽한 동적 장애물 회피는 현재 어려운 실정이다[17].

RFID 기반 시스템을 사용한다면 장애물 회피 및 공간탐색의 효율성을 보장 받을 수 있다. 〈그림 5〉와 같이 로봇이 레이저 센서를 이용하여 동적 장애물을 인지한다면, 레이저 센서로 거리를 유지한 상태에서 장애물의 사이드를 따라 장애물을 피하게 된다. 주행하지 못한 공간의 RFID 태그 ID를 로봇 스스로 기억하고 주행을 마치고 대기 상태에 접어들기 전에 다시 주행하지 못한 공간을 탐색하게 된다. 〈그림 6〉과 같이 장애물이 발견되지 않은 다른 공간을 탐색 후 이동 장애물이 발견된 공간을 차후에 탐색한다면, 장애물에 따른 대기 시간 및 충돌을 최소화 할 수 있다.

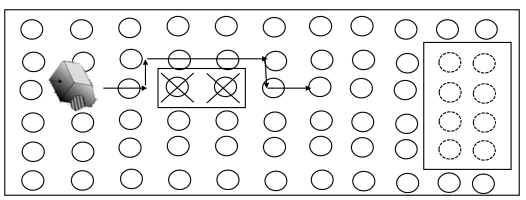


그림 5. 동적 장애물 회피
Fig 5. Avoidance of Dynamic Obstacle

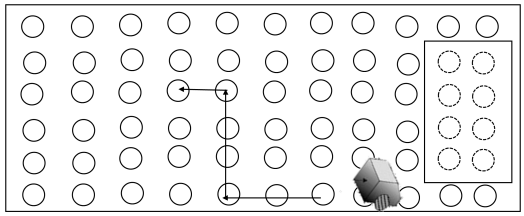


그림 6. 탐색되지 않은 공간 재탐색
Fig 6. Re-Explore Unexplored Space

Ⅵ. 실험 및 성능 평가

RFID 기반 멀티 로봇 시스템의 성능을 측정하기 위해 JAVA 기반의 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 시뮬레이션 환경은 〈그림 7〉과 같다. 시뮬레이션 툴은 로봇의 공간 할당 및 재할당이 가능하며 작업 완료 후 대기 중인 로봇의 수를 제한할 수 있도록 개발되었다.

시뮬레이션은 제안한 멀티로봇 관리 시스템을 적용한 경우와 기존 멀티 로봇에 대한 연구를 기반으로 하는 경우, 그리고 싱글 로봇에 대해 수행하였으며, 기존 멀티로봇 시스템의 경우에는 공간 할당 및 재할당 알고리즘을 사용하지 않고 공간을 자율적으로 탐색하도록 실시하였다.

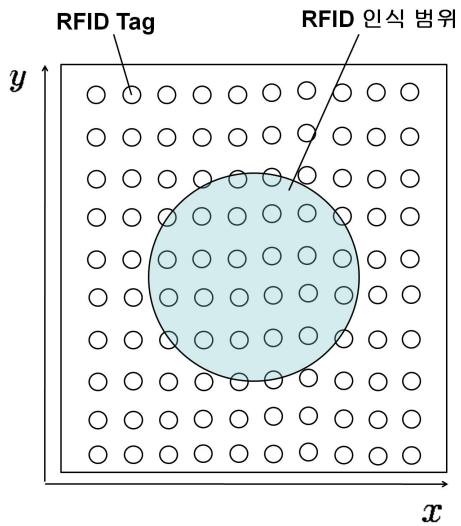


그림 7. RFID 리더기 인식 범위
Fig 7. Recognition Range of RFID Reader

www.kci.go.kr

제안한 시스템의 시뮬레이션은 최대 4대의 로봇이 동시에 작업을 수행하며, 하나의 로봇을 홈로봇으로 지정한다. 하나의 홈로봇과 3대의 싱글 로봇은 할당된 공간 탐색을 수행 중에 계속적으로 통신을 하게 되며, 오류 및 작업 완료에 대한 보고를 홈로봇에게 하게 되고, 이로 인해 홈로봇은 각 싱글 로봇의 세부 정보를 실시간으로 파악하여 공간을 할당하는 것으로 가정하였다.

로봇의 속도는 0.25m/s로 하고, 관리 시스템 하에 운영되지 않는 멀티 로봇은 임의의 방식으로 주행을 하며, 그 외의 방식은 로봇이 공간을 지그재그로 탐색하며, 전체공간을 탐색한다. 시뮬레이션 환경의 총 면적은 가로 세로 30m2에 400개의 태그가 환경에 부착되었다. 〈그림 7〉과 같은 RFID에 기초한 환경이 설정되었으며, 이동 로봇의 위치를 추정하기 위해 좌표 정보를 저장한 태그를 사용한다. 로봇에 915MHz의 리더기와 태그를 사용하는 것으로 하여, 로봇으로부터 6m 이내의 태그가 인식되는 것으로 가정한다.

태그는 일정한 형식으로 환경에 배치되며 태그와 태그 사이는 리더기의 인식범위를 벗어나지 않도록 설정한다. 이러할 경우 리더기의 인식 범위는 〈그림 7〉과 같이 원형 형태로 표현할 수 있다.

리더기의 인식거리 내에 위치한 태그를 감지하여, 감지된 태그의 위치 정보를 바탕으로 로봇의 위치 및 탐색 하고 있는 공간을 파악할 수 있다. 〈그림 7〉과 같이 RFID 태그의 좌표가 주어진다면 로봇의 중심좌표 (xest, yest)는 식 (3) 에 의해 계산되어진다[18].

$$x_{est} = \frac{\max(x_1, \ldots x_n) + \min(x_1, \ldots x_n)}{2}$$
$$y_{est} = \frac{\max(y_1, \ldots y_n) + \min(y_1, \ldots y_n)}{2} \quad (3)$$

여기서, n은 감지된 태그 수를 나타내고, 좌표값 xest 와 yest 는 로봇의 현재 탐색 위치를 나타낸다.

본 논문에서는 싱글 로봇, 관리 기법을 적용하지 않은 멀티 로봇, 그리고 제안하는 관리 기법 하에 멀티 로봇을 기반으로 특정한 환경 내에서의 전체 공간을 탐색 시 중복탐색율 및 공간 탐색 소요 시간을 비교해 보았다.

싱글 로봇은 하나의 로봇으로 전체 공간의 탐색 작업을 수행하며, 관리 기법을 적용하지 않은 멀티 로봇은 관리 시스템 없이 로봇들의 자율주행을 통해 모든 로봇의 공간 탐색 시간 및 중복 탐색율을 계산한다. 제안한 시스템 상의 멀티 로봇은 홈로봇의 관리 하에 초기 공간을 할당받아 중복 탐색 공간을 최소화 하였으며, 할당 받은 공간이 다르기 때문에 발생하는 대기상태의 비활성화된 로봇의 수를 동적 공간 재할당 기법을 적용하여 최소화 하였다.

위에서 언급한 세 가지 경우에 대해 실험 평가하였으며 총 10번의 실험을 수행하여 평균값을 계산하였다. 그 결과는 〈표 1〉과 〈그림 8〉에서 확인할 수 있다.

표 1. 에서 보는 것과 같이 싱글 로봇보다 관리 기법을 적용하지 않은 멀티 로봇, 멀티 로봇보다 관리 기법을 적용하여 멀티로봇을 관리 하며 탐색작업을 수행하는 것이 전체 탐색 시간 및 중복 탐색율을 줄이는 효과를 내는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 결과

	Single Robot	MutiRobot Without Mngt System	MutiRobot With Mngt System
로봇간의 중복 탐색율		56.3 %	8 %
전체 탐색 소요시간	86 min	61 min	26 min
30분 내의 공간 탐색율	33.5%	71.8%	100.0%

전체 탐색 소요시간의 경우를 본다면 전체 탐색 시간이 싱글 로봇에 비해 멀티 로봇의 경우가 총 탐색 작업 소요 시간이 줄어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 전체 공간을 탐색할 시 관리 시스템 하에 운영되지 않는 멀티 로봇은 RFID 태그에 기반하여 공간을 할당하지 않기 때문에 중복 탐색율은 56.3%로 로봇이 한번 탐색한 공간을 다른 로봇이 다시 탐색을 하여 효율이 저하되는 것을 볼 수 있다. 또한, 시간이 지속됨에 따라 탐색되지 않은 공간을 탐색할 확률이 적어지고, 중복적인 공간 탐색율은 시간이 갈수록 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 관리 기법을 적용한 멀티 로봇과 비교하여 전체 공간 탐색 완료 시간이 높아지는 것을 볼 수 있다.

〈그림 8〉의 (c)그래프를 보더라도 시스템 관리 하의 멀티 로봇에 비해 관리 기법을 적용하지 않는 멀티로봇이 중복 탐색율이 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 이러한 중복탐색율로 인해 전체 공간 탐색 소요 시간이 증가하는 것을 〈그림 8〉의 (b) 에서 볼 수 있다. 싱글 로봇에 비해 멀티 로봇을 이용한 공간 탐색이 전체 공간을 탐색하는 시간은 빠르지만 로봇들을 관리 하여야 하는 관리 시스템이 없게 되어, 다수의 로봇을

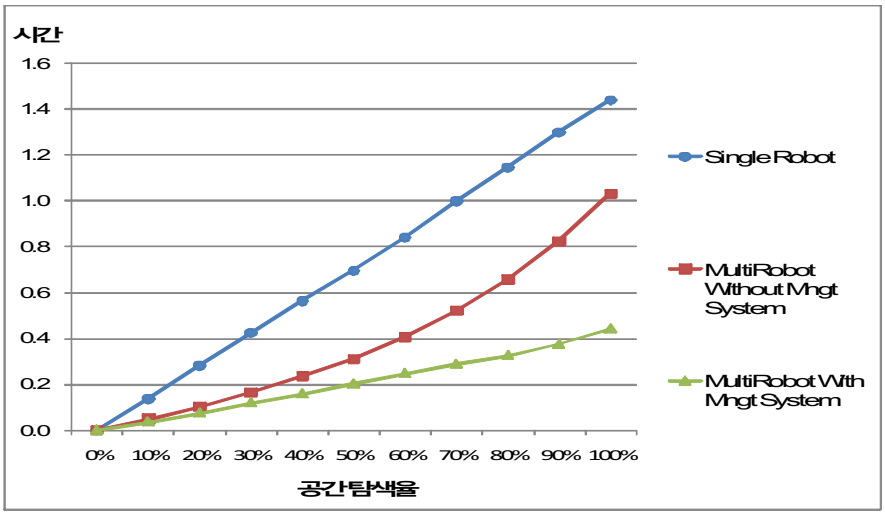
www.kci.go.kr

사용하는 효율성은 떨어지게 되고, 이러한 비효율성은 관리 기법하의 멀티 로봇과 비교해 보면 알 수 있다.

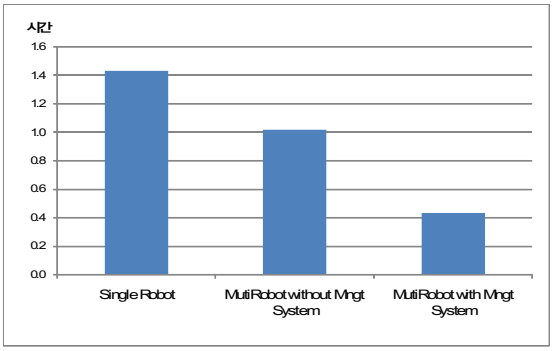
〈그림 8〉의 (a) 그래프와 같이 관리 기법을 적용하지 않은 멀티 로봇은 시간이 갈수록 중복 탐색율이 높아지고 전체 탐색 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면 제안한 시스템의 관리하의 멀티 로봇은 공간의 할당 및 재할당 기법을 활용하여 홈로봇의 관리 하에 각 싱글 로봇의 탐색율 및 전체 탐색 소요 시간에 큰 효율을 보이며, 시간이 지나도 탐색 시간이 길어지지 않는 것을 확인할 수 있다.

Ⅶ. 결론

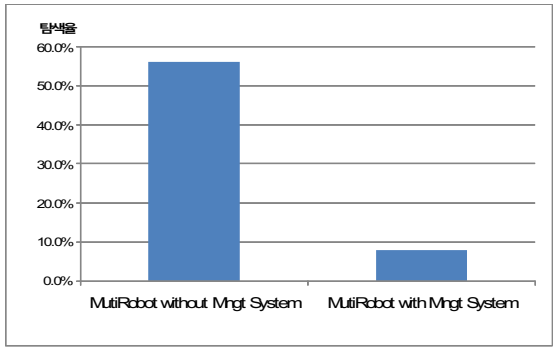
본 논문에서는 RFID 기반 멀티 로봇 관리 시스템을 제안하였다. 본 논문에서는 미리 설정된 RFID 환경 내에서 RFID를 활용한 각 싱글 로봇의 탐색 공간 할당 기법을 활용하여 싱글 로봇간의 중복탐색을 최소화 하였다. 또한 전체 공간 탐색 보장과 공간 탐색 성능 향상을 위해 장애가 발생한



(a) 시간별 공간 탐색율



(b) 전체 공간 탐색 소요 시간



(c) 중복 탐색율

그림 8. 시간별 공간 탐색율, 전체 공간 탐색 소요 시간, 그리고 중복 탐색율

Fig 8. Space Exploration Rate Hourly, Exploration Time of Whole Work Area and redundancy Rate in Space Exploration

www.kci.go.kr

로봇을 주기적으로 탐지하고 대체할 수 있는 고장 허용 기법(fault tolerance)을 제시하였다. 각 싱글 로봇에게 최적의 탐색 공간을 할당하고 장애가 발생한 로봇을 탐지하는 역할은 기존의 중앙 서버 역할을 대체하는 홈로봇이 맡게 된다. 싱글 로봇 중에 지정된 하나의 홈로봇은 각 로봇을 관리하며 전체 공간 탐색 완료 보장을 하게 된다.

다수의 로봇이 각각의 업무 공간을 할당 받아, 로봇에 부착된 리더기와 RFID 태그를 이용하여 자신만의 공간에서 탐색 작업을 수행하는 것이 가능하다. 그리고, 할당 받은 미니맵을 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 고장 허용 기법을 제공함으로써 주행오류, 통신 오류가 발생한 로봇을 인지하고 공간을 재할당 함으로서 멀티 로봇 시스템의 효율성 및 신뢰성을 확보하였다.

시뮬레이션을 통해 제안한 멀티로봇 관리 시스템을 적용한 경우와 기존 멀티로봇에 대한 연구를 기반으로 하는 경우의 탐색 소요 시간 및 중복 탐색율을 비교하여 제안한 시스템의 효율성을 입증하였다.

참고문헌

〔1〕 Dirk Hahnel, Dieter Fox and Ken Fishkin, "Mapping and Localization with RFID Technology", Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.1, pp.1015-1020, 2004.

〔2〕 K. Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd Edition. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2003.

〔3〕 S. Jia, W.Lin, K. Wang and K. Takase, "Network Distributed Multi-Functional Robotic System Supporting the Elderly and Disabled People", Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol.45, pp.53-76, 2006.

〔4〕 Alexander Kleiner, Johann Prediger and Bern-hard Nebel, "RFID Technology-based Exploration and SLAM for Search and Rescue", Proceeding of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.4054-4059, 2006.

〔5〕 Kho Hao Yuan, Ang Chip Hong, Marcelo Ang and Intelligent Robotic Books Retrieval & Retrun System Utilizing RFID Tags", Proceedings IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol.4, 2002.

〔6〕 Vladimir Kulyukin, Chaitanya Gharpure, Jhon Nich- olson, "RoboCart: Toward Robot-Assisted Navigation of Grocery Stores by the Visually Impaired", Proceeding of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2845-2850, 2005.

〔7〕 Yu Zhou, Wenfei Liu, and Peisen Huang, "Laser-activated RFID-based Indoor Localization System for Mobile Robots", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4600-4605, 2007.

〔8〕 HyungSoo Lim, ByoungSuk Choi and JangMyung Lee, "An Efficient Localiztion Algorithm for Mobile Robots based on RFID System", SICE-ICASE International Joint Conference, pp.5945-5950, 2006.

〔9〕 김원, "RFID 환경 기반 이동 로봇 시스템", 한국정보기술학회, 제5권, 제4호, pp.25-30, 2007.

〔10〕 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, 2004.

〔11〕 Richard T. Vaughan, Kasper Stoy, Gaurav S. Sukhatme and Maja J. Mataric, "LOST: Localization-Space Trails for Robot Teams", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.18, No.5, pp.796-812, 2002.

〔12〕 Jijun Wang, Michael Lewis, "Human Control for Cooperating Robot Teams", Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp.9-16, 2007.

〔13〕 L. E. Parker, "Alliance: an architecture for fault toleranc e multirobot cooperation", IEEE Transaction Robot, Automat, Vol.14, No.2, pp.220-240. 1998.

www.kci.go.kr

〔14〕 B. P. Gerkey, "pusher-watcher: an approach to fault-tolerant tightly-coupled robot coordination", Proc.2002 IEEE International Conference Robot. and Automat, Washington DC, pp.464-469, 2002.
〔15〕 Alan F. T. Winfield, Julien Nembrini, "Safety in numbers: fault-tolerance in robot swarms", International Journal of Modeling, Identification and Control, Vol.1, No.1, pp.30-38, 2006.
〔16〕 K. H. Kane Kim, Chittur Subbarama, "Dynamic Configuration Management in Reliable Distributed Real-Time Information Systems", IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, pp.239-254, 1999.
〔17〕 Wesley H. Huanga, Brett R. Fajenb, Jonathan R. Finka and Willian H. Warrenc, "Visual Navigation and Obstacle Avoidance Using a Steering Potential Function", Robotics and Autonomous Systems, Vol.54, No.4, pp.228-299, 2006.
〔18〕 P. S. Maybeck, "Stochastic Models, Estimation and Control", Vol.1, pp.1-23, 1979.

저 자 소 개

안 상 선

2007년 동국대학교 컴퓨터공학과 학사
2007년 ~ 현재 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 석사과정
관심분야 : Robot Software Architecture, Multi-Robot Management

신 성 욱

2001년 고려대학교 컴퓨터학과 학사
2003년 고려대학교 컴퓨터학과 석사
2003년 ~ 현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사과정
관심분야 : 데이터베이스, 에이전트 정보통합 등

이 정 욱

1992년 고려대학교 컴퓨터학과 학사
1994년 고려대학교 컴퓨터학과 석사
2001년 고려대학교 인공지능전공 박사
2002년 ~ 현재 건국대학교 항공우주정보 시스템공학과 부교수
관심분야 : Information Integration, Autonomous Aerospace System, Unmanned Helicopter Robot, Swarm Intelligence

백 두 권

1974 고려대학교 수학과 이학사
1977 고려대학교 대학원 산업공학과 공학석사
1983 Wayne State Univ. 전산학 석사
1985 Wayne State Univ. 전산학 박사
1986~현재 고려대학교 컴퓨터학과 교수
1989~현재 한국정보과학회 이사/평의원/부회장
1991~현재 한국시뮬레이션학회 이사/부회장/감사
1991~현재 ISO/IEC JTC1/SC32 국내위원회 위원장
2002~2004 고려대학교 정보통신대학 초대학장
2002~2004 한국시뮬레이션학회 회장
2001~현재 행자부 등록 (사)도산아카데미 원장
2004~현재 정통부 등록 (사)한국정보처리학회 부회장
2005~현재 정통부 등록 (사)한국정보과학회 부회장
2005~현재 교육부 등록 (사)홍사단 공의원
2005~현재 산자부 등록 (사)한국시뮬레이션학회 고문
관심분야 : 데이터베이스, 소프트웨어 공학, 시뮬레이션, 메타데이터, 정보통합, 정보 보호 등

www.kci.go.kr