

인간과의 상호보완 알고리즘을 기반으로 한 다개체 청소 로봇 구조

김기덕[○] 김태형
한양대학교 컴퓨터공학과
kdkim@hanyang.ac.kr, tkim@hanyang.ac.kr

Multiple Cleaning Robots Architecture Based on Human-Aided Cleaning Algorithm

Ki-Duck Kim[○] Tae-Hyung Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

요 약

다개체 이동 로봇 시스템을 사용함으로써 기존의 싱글 로봇 시스템이 할 수 없거나 하기 어려운 작업을 수행 할 수 있게 되었다. 또한 로봇 간의 협력적인 작업을 통하여 성능 향상을 가져오게 되었다. 그렇기 때문에 현재 상용화가 이루어진 청소 로봇에 대하여 다개체 이동 로봇 시스템이 적용된다면 작업 시간의 비용을 줄일 수 있을 것이기에, 본 논문에서는 사람과의 상호 보완을 이용한 청소 로봇 알고리즘을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하였을 때의 구조를 정의하고 이에 알맞은 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

다개체 이동 로봇 시스템(System of multiple mobile robots)을 사용함으로써 기존의 싱글 로봇 시스템(System of single mobile robot)이 하기 어려운 작업이나 할 수 없었던 작업을 할 수 있게 되었으며, 빠른 실행 결과 등과 같은 성능적인 면에서도 이득을 얻게 되었다.[1] 이러한 장점 외에도 싱글 로봇일 때보다 다개체 로봇 시스템일 때 로봇 간의 협업으로 작업을 단순화 시킬 수 있으며, 로봇의 형태를 단순화 할 수 있어서 로봇의 가격적인 측면에서도 이득을 얻을 수 있다. 그리고 여러 대의 로봇들을 사용하기 때문에 내고장성에 강인한 점 등의 다양한 장점이 존재한다. 그렇기 때문에 최근 다개체 로봇 시스템에 대한 관심이 높아져 가고 있다.

이러한 관심이 높아짐으로 인하여 현재 실용화가 되어 있는 청소 로봇에 다개체 이동 로봇 시스템을 적용한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구가 이루어지는 이유는 청소 작업에 대한 시간 비용의 감소로 인한 성능 향상에 목적이 있으며, 또 다른 이유로 청소 작업에 대한 내고장성(fault-tolerant)을 보장해 줄 수 있다는 점이다. 하지만 대부분의 다개체 청소 로봇의 연구는 청소 공간의 분할 및 할당에 초점을 두고 있으며, 이에 대한 계산 알고리즘의 사용과 통신 장비가 장착되기 때문에 한 대의 청소 로봇을 사용할 때보다 비용적인 측면에서 약점을 보인다.

그렇기 때문에 청소 공간의 정보를 사람이 청소 로봇에게 알려주는 방식인 사람과의 상호 보완을 통한 청소 로봇 알고리즘[2]을 이용하여 청소 공간의 분할 및 할당

에 대한 작업을 사람이 보완해 줌으로써 보다 저렴한 청소 로봇으로 효율적인 다개체 청소 로봇 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 효율적인 다개체 청소 로봇 시스템의 구축을 위하여, 사람과의 상호 보완을 이용한 청소 로봇 알고리즘을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하였을 때의 구조를 정의하고 이에 알맞은 알고리즘을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 다개체 이동 로봇 시스템

최근 다개체 이동 로봇은 다음과 같은 이유로 주목받고 있다.[1]

- 싱글 로봇 시스템에서는 하기 힘든 작업이나 할 수 없었던 작업을 수행할 수 있다.
- 다개체 이동 로봇 시스템을 사용함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. (예, 작업 완료 시간의 감소)
- 복잡한 작업을 수행하는 싱글 로봇 대신에 작업을 분할하여 단순화시킨 후, 이를 다개체 로봇이 협력적으로 수행하게 함으로써, 작업이 보다 쉬워지고 유연성을 가지면서 로봇의 가격적인 측면에서도 이득이 발생한다.
- 다개체 로봇 시스템은 여러 대의 로봇들을 사용하기 때문에 내고장성(Fault-tolerant)에 강인하다.

이와 같이 다개체 이동 로봇 시스템은 다양한 장점을 가지고 있다. 반면에 여러 대의 로봇이 동시에 움직이기

때문에 로봇을 이동시키거나 제어하는데 있어서 작업을 수행하는 로봇의 수가 많아질수록 계산복잡도가 기하급수적으로 늘어난다는 단점을 가지고 있다. 앞으로 다개체 이동 로봇 시스템이 해결해야 할 문제들도 이러한 계산 복잡도를 줄이는 일이라 할 수 있다.

2.1.1 다개체 이동 로봇의 경로 계획(path planning)

경로 계획이란 로봇이 출발점에서 목적지까지 최소한의 거리로 충돌이 없이 이동하는 것이다. 이러한 경로 계획은 로봇의 수와 작업 공간의 모양, 시스템의 특성에 상당히 의존적이다. 그렇기 때문에 주어진 조건에 따라 적합한 방법을 찾기 위해서 여러 가지 방법으로 연구가 되고 있다. 이러한 연구는 <표 1>처럼 분류할 수 있다.[3]

<표 1. 경로 계획 분류>

경로 계획 시점	오프라인 경로 계획
	온라인 경로 계획
경로 계획 장소	중앙 집중식 경로 계획
	분산식 경로 계획

오프라인 경로 계획은 환경에 관한 지도가 한번 작성 되면 그 지도를 토대로 경로를 계획하는 방법이다. 그렇기 때문에 지도의 정보에 의존적이며 정보의 오류에 약한 단점을 가지고 있다. 온라인 경로 계획은 로봇의 센서에 의존하여 경로를 생성하며 지속적으로 경로에 대해 재생성하기 때문에 계산량이 많아진다는 단점이 존재한다. 하지만 오프라인 경로 계획과는 반대로 지도 정보에 의존하지 않고 지속적으로 경로를 재생성하기 때문에 지도 정보의 오류에 강하다는 장점이 있다.

중앙 집중식 경로 계획은 모든 로봇의 움직임을 고려하여 경로 계획을 하기 때문에 경로의 최적화가 가능하다. 하지만 경로 계획의 계산 시간이 로봇의 수에 의존적이다. 그리고 하나의 시스템에서 모든 일이 처리되기 때문에 내고장성을 보장하기 힘들다. 분산식 경로 계획은 전체에 대한 정보를 얻을 수 없어 시행착오를 통해 경로를 생성한다. 그렇기 때문에 경로의 최적화와 안정성을 보장할 수 없다. 하지만 중앙 집중식과는 반대로 경로 계획의 계산 시간이 로봇 수에 비의존적인 장점을 가지고 있으며, 각 로봇이 자신의 경로를 생성하기에 어떤 하나의 로봇이 고장이 난다고 하여도 전체 시스템이 고장나는 일이 없기에 내고장성에서도 뛰어난 점을 가지고 있다.

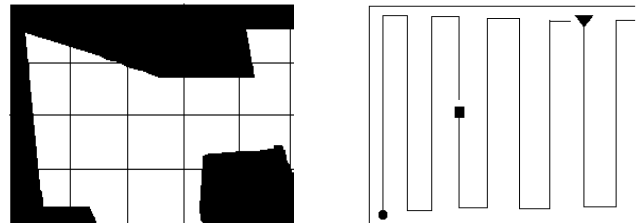
다개체 청소 로봇의 경로 계획도 <표 1>의 방법 중에서 어떠한 방식을 선택하느냐에 따라 시스템의 모양이 바뀔 것이다. 하지만 청소에 대한 경로 계획은 일반적인 경로 계획의 목적과는 달리 2차원 공간을 로봇이 어떻게 효과적으로 커버하느냐가 주요 쟁점 사항이다.[4] 또한 청소 로봇들이 주어진 공간의 일을 완료한 후 다음 공간으로 이동 시에 다른 청소 로봇과의 충돌이 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 청소 로봇들 간의 충돌을 회피하기 위한 방법을 필요하다.[6]

2.1.2 작업 공간의 할당 및 분할

다개체 청소 로봇 시스템에서 가장 중요한 것은 작업 공간에 대한 분할과 할당이다. 그 이유는 작업 공간을 분할하고 할당하는 방법에 따라 전체 시스템의 효율성이 달라지기 때문이다. 작업 공간을 할당하는 방법은 정적 접근 방식(Static approach)과 동적 접근 방식(Dynamic approach)로 분류할 수 있다.[5]

- 정적 접근 방식
 - 작업 시작 시에 정확한 부분공간(subarea)을 로봇에게 할당
 - 새로운 장소에 대하여 동적으로 적용되지 못함 (예, 하나의 로봇에 고장이 발생하였을 때, 그 작업을 다른 로봇에 인수인계 할 수 없음)
- 동적 접근 방식
 - 실행 중에 부분공간을 로봇에게 할당
 - 협력적 작업을 위해 지속적인 통신이 필요

작업 공간을 분할하는 방식은 작업 공간을 어떠한 모양으로 분할할 것인지에 따라 바뀐다. 작업 공간의 분할하는 방법은 공간으로 분할하는 방식과 길이로 분할하는 방식으로 나눌 수 있다. 공간으로 분할하는 방식의 한 예로 작업 공간에 대해 그리드(grid)형태의 셀(cell)모양으로 나눈다. 여기서 하나의 셀이 하나의 부분공간이 되며, 로봇들에게 작업 공간을 셀 단위로 할당한다.[5] 또 다른 방식인 길이로 분할하는 방식은 공간에 대한 경로를 미리 생성하여 로봇의 수에 따라 길이를 공평하게 나눈다. 이렇게 나누어진 경로를 로봇들에게 할당하여 작업을 수행한다.[4]



<그림 1. 작업 공간의 분할에 대한 예시>

2.2 사람과의 상호 보안을 통한 청소로봇 구조

기존의 청소로봇은 크게 랜덤(random) 방식과 매핑(mapping)방식으로 분류할 수 있다. 먼저 랜덤방식은 지도 작성을 하지 않고 청소를 진행하기 때문에 다양한 지도(map)에 쉽게 적응할 수 있으며 가격이 저렴한 반면에 완벽한 청소를 기대하기 힘들다. 이와는 다르게 매핑 방식은 청소 공간을 인식하여 청소를 실행하기 때문에 청소 효율을 높일 수 있으나, 지도 작성 및 자기 위치 추정을 위한 고가의 장비나 비전 센서를 필요로 하기 때문에 가격이 비싸진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 매핑방식의 청소 로봇이 고성능의 장치를 필요로 하기 때문에 청소 로봇의 가격이 비싸다는 단점과 랜덤방식이 가진 비효율적인 청소 로봇의 작업을 극복하기 위한 방법으로 청소 공간의 정보를 사람이 청소 로봇

에게 알려주는 방식인 사람과의 상호 보완을 통한 청소 로봇 구조를 채택하여 이를 다개체 청소 로봇에 적용하려고 한다.[2]

2.2.1 사람과 청소 로봇의 상호관계에 따른 분류

사람과의 상호 보완을 통한 청소로봇 구조에서 가장 중요한 요소는 청소 공간에 대한 정보를 얼마나 알려주어야 하며, 어떤 방법으로 알려 주어야 하는가이다. 이 청소 로봇 구조를 청소 공간의 정보량에 따라 3가지로 분류한다.

<표 2. 청소 공간의 정보에 따른 분류>

분류	청소 공간의 정보	사람의 관여도
Fully Automatic	없음	적음
Semi Automatic	공간 정보의 일부분	중간
Manual	공간에 대한 모든 정보	많음

Fully Automatic은 현재 개발된 청소 로봇의 구동방식으로 사람이 청소 로봇에게 어떠한 정보도 알려주지 않고 작동하는 방식으로 랜덤방식과 매핑방식을 포함한다. 이 방식의 장점이 로봇이 자동으로 동작하기 때문에 사람이 해줘야 할 일이 없다는 것이다. 하지만 중복된 청소 공간을 없애기 위해서는 고성능의 하드웨어 장치와 센서들이 요구되므로 청소 로봇의 가격이 높아지는 단점이 있다.

Semi Automatic은 사람이 청소 로봇에게 청소할 공간의 일부 정보(외곽, 장애물 등)만을 알려주는 것으로 청소 로봇이 청소를 하는 중에 미리 알지 못한 장애물이나 이동 장애물과 같은 임시장애물을 만나게 되면 이에 대한 정보를 청소 로봇 스스로가 갱신해야 하는 방식이다. 이 방식은 청소 공간의 일부 정보를 알기 때문에 중복 청소를 감소시켜 보다 효율적인 청소가 가능하며, 자기 위치를 추정할 수 있는 센서만을 가지고 청소가 가능하다. 그렇기 때문에 Fully Automatic 방식 중에 청소 효율성이 뛰어난 매핑방식의 청소로봇보다 저렴한 가격의 청소 로봇을 제작할 수 있다. 하지만 Semi Automatic은 완벽한 청소 공간의 정보가 주어지는 것이 아니기 때문에 알려주지 않은 장애물이나 임시 장애물에 대한 정보를 갱신한 후에 청소 로봇의 이동경로를 다시 재설정하거나 일시 정지와 같은 대응책을 설정해줘야 한다는 요구사항을 가지고 있다.

마지막으로 Manual은 사람이 청소 로봇을 이동시키며 청소 공간에 대해 완벽히 청소를 하여 모든 정보를 알려주는 것으로, 청소 로봇은 다음에 사람이 이동시킨 경로를 그대로 이동하여 청소하는 방식이다. 하지만 이동 장애물이나 임시 장애물에 대한 정보를 갱신해야 한다는 점에서 Semi Automatic 방식과 유사한 점을 가지고 있다. 사람이 청소하는 방법과 똑같이 청소하여 효율적으로 청소를 할 수 있는 강점을 가지고 있지만, 사람이 청

소 공간의 모든 정보를 알려주어야 하기 때문에 많은 시간과 어려움이 따른다. 또한 앞서 언급한 것과 같이 임시장애물에 대한 처리가 Semi Automatic과 똑같이 요구되기 때문에 대응책을 설정해줘야 한다.

2.2.2 청소로봇에 정보를 전달하는 방식

사용자가 로봇에게 정보를 입력해줄 수 있는 방법은 <표 3>와 같이 사람이 직접 알려주는 방식과 외부 장치를 이용한 방식 2가지로 분류 한다.

<표 3. 청소로봇에게 정보를 전달하는 방식>

분류	전달 방법
사용자가 직접 알려주는 방식	수작업을 직접 이동 리모트 컨트롤러를 이용하여 이동
외부 장치를 이용한 방식	유선 또는 무선 통신

전자는 정보 전달 매체가 없이 사용자가 직접 청소 로봇을 움직여서 정보를 전달하는 방식이다. 후자는 외부 장치를 이용한 방식은 컴퓨터나 PDA 등과 같은 정보 전달 매체를 거쳐 필요한 정보를 전달하는 방식이다. 전자의 장점은 사용자가 직관적으로 청소 공간에 대한 정보를 로봇에게 알려 줄 수 있으며, 별도의 장비를 필요로 하지 않는다. 하지만 사용자의 실수로 인하여 청소 공간 정보의 오류가 발생할 수 있고 완벽한 청소를 위해 알려주어야 할 정보의 양이 많아진다는 단점이 있다. 후자인 외부 장치를 이용한 방식은 주변 환경에 대한 정보를 비교적 쉽게 알려 줄 수 있으나 정확한 정보 전달이 되지 않는다면 원하지 않는 실행 결과가 발생할 될 수 있다.

3. 제안 내용

다개체 청소 로봇을 사용하는 이유는 첫째 청소 작업을 보다 빠르게 완료하는 성능향상에 있고, 두 번째는 한 대의 청소 로봇으로 작업할 수 없는 넓은 공간의 청소를 완료할 수 있도록 해준다. 이렇듯 청소 작업을 완료할 때까지의 시간 비용(time cost)을 줄이기 위해서는 2.1에서 설명한 것과 같이 작업 공간의 분할과 할당이 잘 이뤄져야 한다. 그렇기 때문에 2.2절에서 설명한 사람이 청소 로봇에게 작업 공간의 정보를 알려주는 알고리즘을 사용하여 작업 공간의 분할과 할당 작업의 일부 까지도 사람이 보완해 줌으로서 보다 효율적인 다개체 청소 로봇 시스템이 가능할 것이다. 다개체 청소 로봇 시스템에서 사람이 작업 공간을 얼마만큼 청소 로봇에게 정보를 알려주느냐에 따라서 다개체 청소 로봇 시스템은 많이 달라질 수 있다. 그렇기에 본 논문에서는 청소 로봇의 수에 따라 다개체 청소 시스템의 구조를 정의하며, 이에 알맞은 알고리즘을 제안한다.

3.1 가정

본 논문에서는 청소 로봇들 간의 통신의 구조나 하드웨어 구조에 대한 내용은 다루어지지 않는다. 그렇기 때문에 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 청소 로봇들 간의 통신은 항상 가능하다.

- 모든 청소 로봇은 동일한 성능을 가진다.
- 청소 공간과 장애물은 직사각형 모양으로 제한한다.

3.2 정보를 알려주는 청소 로봇의 수에 따른 분류

다개체 청소 로봇에 대한 구조를 사람이 정보를 몇 대의 청소 로봇에게 줄 것인지에 따라 <표 4>와 같이 분류할 수 있다. 로봇의 최대 개수는 n개이다.

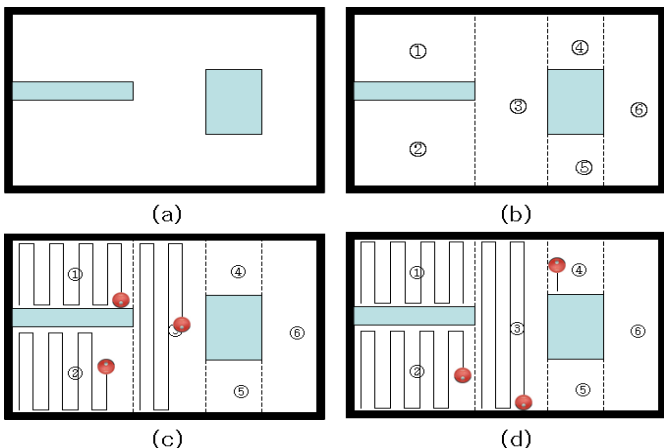
<표 4. 정보를 받는 로봇의 수에 따른 분류>

분류	정보를 받는 로봇의 수	계산 복잡도
Main 컴퓨터 또는 로봇에 정보를 주는 방식	0 or 1	많음
일부 로봇들에게 정보를 주는 방식	$1 < x < n$	중간
모든 로봇에게 정보를 주는 방식	n	적음

Main 컴퓨터 또는 로봇에 정보를 주는 방식에서 정보를 받는 로봇의 수는 0이나 1이 된다. 그 이유는 정보를 받는 대상이 컴퓨터 서버가 될 수 있기 때문이다. 그리고 <표 4>에서 x는 정보를 받은 로봇의 수를 나타낸다.

3.2.1 Main 컴퓨터 또는 로봇에 정보를 주는 방식

이 방식은 사람이 main 컴퓨터 또는 로봇 하나에 작업 공간에 대한 정보를 주는 것이다. 사람은 Main이 되는 장치 한 대에만 정보를 주기 때문에 다른 2가지 방법보다 사람의 관여도가 적어 편리성이 좋다는 장점을 가진다. 하지만 Main 장치가 작업 공간의 분할 및 할당을 담당해야하는 별도의 알고리즘이 요구된다. 그리고 Main 장치의 오류나 고장으로 인하여 시스템 전체가 동작하지 않는 내고장성에 취약하다는 단점이 있다. Main이 되는 장치는 청소 작업을 수행하는 모든 로봇과의 통신을 하고 있다. <그림 2>는 Main 컴퓨터에 작업 공간에 대한 지도 정보를 주어 청소를 수행하는 모습이다. 작업 공간을 분할하는 방법은 2.1.2절에서 설명하였던 방식은 계산의 복잡성 때문에 사용하지 않고 장애물의 끝점에서 위 또는 아래로 선을 그어 분할하는 방식을 사용한다.

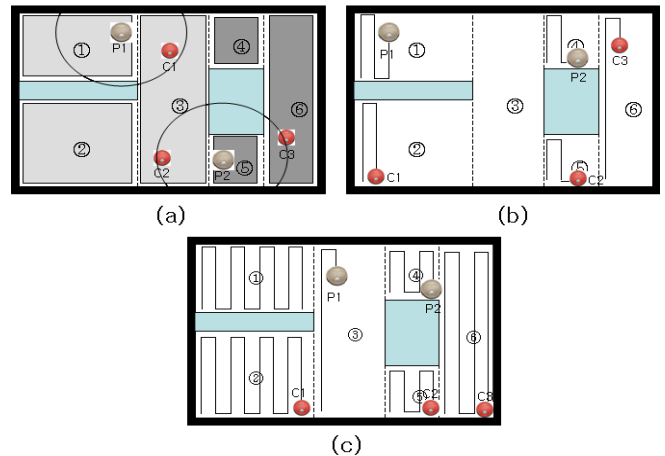


<그림 2. Main 컴퓨터에 정보를 주는 방식>

<그림 2>의 (a)는 작업 공간의 지도 정보로써 이 정보를 사람이 2.2절에서 설명한 방식으로 Main 컴퓨터에게 전달한다. 정보를 전달받은 Main 컴퓨터는 <그림 2>의 (b)처럼 장애물의 끝점에서 위, 아래로 선을 그어 청소 공간을 나눈다. <그림 2>의 (b)에서는 총 6개의 공간으로 나뉘어졌다. 나뉘어진 공간을 3대의 청소 로봇에게 할당하여 청소 작업을 <그림 2>의 (c)처럼 수행한다. <그림 2>에서는 주행 방법은 region filling 알고리즘[7]을 사용하고 있으며, 이와 다른 contour-parallel 알고리즘[3]과 같은 주행 알고리즘을 사용하여도 무방하다. <그림 2>의 (d)처럼 부분공간 ①의 청소가 완료되었다면, 완료된 청소 로봇은 이를 메인 컴퓨터에 알리고, Main 컴퓨터는 청소 해야할 공간이 남아 있다면 작업하지 않고 대기하고 있는 청소 로봇에게 다시 할당하여 청소를 시작한다. 이 방식을 모든 청소 공간이 완료가 될 때까지 반복하여 수행한다.

3.2.2 일부 로봇들에게 정보를 주는 방식

이 방식은 청소 로봇들에게 환경에 대한 정보를 알려주되 일부의 청소로봇들에게만 알려주는 방식이다. 정보를 받은 청소 로봇은 자신의 통신 거리에 있는 정보를 받지 못한 로봇들에게 작업을 할당하여 수행하는 방법이다. 이 방식은 3.2.1의 방식보다 사용자의 관여도가 높기 때문에 사용자 편리성이 떨어지는 반면에 청소 공간에 대해 분할 작업을 하지 않고, 자식 로봇에게 할당 작업만을 하기 때문에 계산적인 면에서 3.2.1절의 방식에 비해 효율적이다. 그리고 정보를 받는 부모 로봇이 고장을 일으키지 않는다면 자식 로봇들이 망가진다고 하더라도 청소 작업을 완료할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 하나의 부모 로봇이 청소 작업 중에 망가졌다고 한다면, 그 부모 로봇이 자식 로봇과 함께 작업해야하는 청소 공간에 대해서는 완료하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.



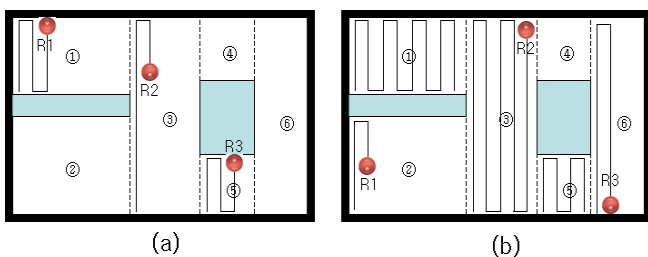
<그림 3. 일부 로봇들에게 정보를 주는 방식의 예>

<그림 3>에서 부모 로봇은 P1, P2이고, 자식 로봇은 C1, C2, C3이다. <그림 3>의 (a)는 부모 로봇 P1에는 부분공간 ①, ②, ③의 정보를 P2에는 ④, ⑤, ⑥의 정보

를 알려준다. 이 때 전달하는 정보는 다양한 것이 될 수 있다. 하나의 예로 부분 공간에 대한 좌표값을 들 수 있겠다. 정보를 할당 받았다면, 이제 P1과 P2는 자신의 통신 거리에 있는 자식 로봇들을 찾아 부모 로봇이 작업하는 공간 외에 공간을 자식 로봇에게 할당한다. 부모 로봇과 자식 로봇은 <그림 3>의 (b)처럼 청소 작업을 시작한다. 작업을 시작한 후 할당 받은 공간의 청소를 완료하였다면 자식 로봇인 경우, 이를 부모 로봇에게 알리고 다음 작업 공간을 할당 받는다. 이와는 다르게 부모 로봇이 작업이 완료한 경우, <그림 3>의 (c)처럼 부모 로봇 자신이 할당받은 공간 중에서 자식 로봇이 작업하고 있지 않는 공간의 청소를 시작한다. 이를 모든 작업 공간에 대한 청소가 완료되어 질 때까지 반복한다.

3.2.3 모든 로봇에게 정보를 주는 방식

이 방식은 사람이 임의적으로 분할한 청소 공간에 대한 정보를 모든 로봇들에게 분할된 공간을 할당하는 방식으로 작업 공간의 분할 및 할당 작업이 모두가 사람의 관여도가 가장 높아서 사용자의 편의성이 가장 떨어지는 단점이 있지만, 반면에 로봇들은 청소 공간의 할당 및 분할에 대한 계산을 하지 않아도 되며, 로봇들 간의 통신이나 작업 할당과 같은 일을 하지 않아도 되기 때문에 청소 로봇의 가격적인 면에서 저렴해 진다는 장점이 있다. 모든 로봇에게 정보를 주는 방식 또한 3.2.2 절의 방식에서 부모 로봇이 고장났을 때와 마찬가지로 어느 한 로봇이 망가진다면 그 로봇에게 할당된 청소 작업이 완료될 수 없다는 내고장성 문제를 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 이웃 로봇들 간에 분할된 작업 공간의 정보를 공유함으로써 해결될 수 있을 것이다. 하지만 이 방법 또한 청소 작업 중에 이웃 로봇을 만나지 않는다면 정보를 공유할 수 없다는 문제점이 있다.



<그림 4. 모든 로봇에게 정보를 주는 방식>

<그림 4>는 모든 로봇에게 정보를 주는 방식을 표현한 것이다. 청소 로봇 R1에게는 부분 공간 ①, ②를 R2에게는 ③, ④를 R3에게는 ⑤, ⑥의 정보를 할당하여 청소 작업의 수행을 보여준다.

4. 실험 계획

본 논문의 3절에서 제안한 구조의 효율성에 대한 비교를 위하여 다양한 종류의 맵에서 시뮬레이션을 할 것이다. 비교 방법은 동일한 맵에서 공간 분할 및 할당을 하지 않는 다개체 청소 로봇과 본 논문에서 제시한 구조를

비교 분석하여 어떠한 차이점이 있는지를 알아볼 것이다. 그리고 랜덤 방식과 맵핑 방식을 적용시킨 다개체 청소 로봇 시스템과 본 논문에서 제안한 구조와의 비교를 통해 어떠한 차이점이 있는 지를 알아보려고 한다.

효율성을 비교하기 위한 데이터는 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 동일한 시간 동안에 청소 작업을 수행한 양을 비교한 것이고, 두 번째는 작업 완료하는데 까지 걸리는 시간에 대한 것을 비교할 수 있을 것이다. 또 하나를 추가하자면 청소 작업이 완료될 때까지 작업의 중복량을 비교하는 것 또한 효율성을 나타내는 지표로 쓰일 수 있을 것으로 예상된다.

청소 로봇의 성능 비교를 위해 USC (University of Southern California)에서 오픈 소스로 제공하는 Player/Stage project의 Player/Stage simulator를 사용할 것이며 시뮬레이터의 환경은 Fedora 3.0 + kernel 2.6.9-1.667에서 진행될 것이다. 성능 비교를 위해 player/stage를 선택한 가장 큰 이유는 레이저 센서, 적외선 센서, 범퍼 센서 등에 대한 다양한 가상 디바이스(virtual device)가 지원되며 이러한 디바이스들은 많은 실험을 통해 검증되었기 때문이다.[8][9]

5. 결론 및 향후 과제

본 논문은 2.2절에서 설명한 청소 로봇과 사람과의 상호 보안을 이용하는 알고리즘을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용한 구조를 3.2절과 같이 정보를 받는 청소 로봇의 수에 따라 3가지로 방식으로 분류하여 정의하였다. 그리고 분류된 방식에 따른 장단점을 기술하였으며, 알맞은 알고리즘을 보였다.

향후 과제로는 4절에서 설명한 것과 같이 본 논문에서 제안한 방식과 다른 방식과의 효율성 비교를 통해 본 논문의 방식의 효율성을 입증할 것이다. 그리고 3.2.2절에서 나타날 수 있는 내고장성 문제를 공간의 일부 정보를 받는 부모 로봇의 정보를 자식 로봇에게도 똑같이 알려주는 방법을 모색해 보았으나, 아직 효율적인 면에서 어떠한지 알 수가 없기 때문에 향후 실험을 통해서 알아보도록 할 예정이다. 3.2.3절에서 나타난 내고장성의 문제점을 해결할 수 있는 방안이 필요할 것으로 예상된다.

6. 참고 문헌

[1] Y. Uny Cao¹, Alex S. Fukunaga and Andrew Kahng, "Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions", Autonomous Robots, Volume 4, pp. 7-27, 1997
 [2] 김승용, 김기덕, 김태형, "저비용 로봇 구조를 위한 백터기반 청소 로봇 알고리즘", 한국정보과학회 학술발표논문집 한국정보과학회 2006 가을 학술발표논문집 제 33권 제2호(B), pp. 121-125, 2006
 [3] T. Arai and J. Ota, "Motion Planning of Multiple Mobile Robots", Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Automation, pp. 1761-1768, 1992
 [4] Kurabayashi D., Ota J., Arai T. Yoshida, E., "Cooperative Sweeping by Multiple Mobile Robots",

Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume 2, pp. 1744–1748, 1996

[5] Markus Jäger and Bernhard Nebel, "Dynamic Decentralized Area Partitioning for Cooperating Cleaning Robots", Proc. International Conference on Robotics and Automation, pp. 3577–3582, 2002

[6] Markus Jäger and Bernhard Nebel, "Decentralized Collision Avoidance, Deadlock Detection, and Deadlock Resolution for Multiple Mobile Robots", Int. Conf. on Intelligent Robots and System, pp. 1213–1219, 2001

[7] Joon Seop Oh; Yoon Ho Choi; Jin Bae Park; Zheng, Y.F. "Complete coverage navigation of cleaning robots using triangular-cell-based map", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 51, Issue 3, Page(s):718 – 726, June 2004

[8] Brian P.Gerkey, Richard T.Vaughan, Andrew Howard, "The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems", In Proceeding of the International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2003), page 317–323, 2003

[9] Toby H.J. Collett, Bruce A. MacDonald, and Brian P. Gerkey, "Player 2.0: Toward a Practical Robot Programming Framework". In Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA 2005), Sydney, Australia, December, 2005