

# 인간과의 상호보완 알고리즘 기반의 청소 로봇을 사용한 다개체 청소 로봇 구조

김기덕\*, 김태형  
한양대학교 컴퓨터공학과

e-mail: kdkim@cse.hanyang.ac.kr\*, tkim@cse.hanyang.ac.kr

## Multiple Cleaning Robots Architecture Using Cleaning Robots Based on Human-Aided Cleaning Algorithm

Kideok Kim\*, Tae-Hyung Kim  
Dept of Computer Science Engineering, Han-Yang University

### 요 약

기존의 싱글 로봇 시스템이 할 수 없거나 하기 어려운 작업을 다개체 이동 로봇 시스템을 사용함으로써 수행 할 수 있게 되었으며, 로봇 간의 협력적인 작업을 통하여 성능 향상을 가져오게 되었다. 이러한 장점 때문에 상용화가 잘 이루어진 청소 로봇에서도 다개체 로봇 시스템 적용에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 기존의 다개체 청소로봇 시스템은 고가의 매핑 방식 청소 로봇을 사용하기 때문에 비용적인 문제에 있어서 큰 문제를 가지고 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하여 가격적인 단점을 보완하려고 한다. 하지만 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 그대로 다개체 청소 로봇 시스템에 적용할 수 없기 때문에 이를 보완할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

### 1. 서론

여러 작업을 동시에 해야하는 작업이나 일정 시간 내에 완료가 요구되는 작업 등 싱글 로봇 시스템(System of single mobile robot)으로는 하기 어렵거나 할 수 없는 작업들이 존재한다. 그렇기 때문에 여러 대의 로봇들을 사용하는 다개체 로봇 시스템(System of multiple mobile robots)을 이용하여 이와 같은 문제점들을 해결할 수 있게 되었다. 이러한 문제 해결 외에도 복잡한 작업을 여러 가지 단순한 작업으로 분리하여 작업함으로써, 작업을 보다 쉽게 할 수 있게 되었으며, 여러 대를 사용함으로써 작업 완료 시간을 단축할 수 있게 되었다. 또한 어느 한 로봇이 고장이 나더라도 다른 로봇이 작업을 대신할 수 있기 때문에 내고장성(fault-tolerant)에 있어서 강인하다는 장점이 존재한다.[1] 이러한 장점으로 인하여 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 감소와 한 대의 청소 로봇으로는 청소 작업을 완료 할 수 없는 넓은 공간에 대한 청소 완료에 목적이 있으며, 또 다른 이유로 청소 작업에 대한 내고장성을 보장해 줄 수 있다는 것이다.

대부분의 다개체 청소 로봇의 연구는 청소 공간의 분할 및 할당에 초점을 두고 있기 때문에 작업 공간의 분할과 할당에 대한 복잡한 알고리즘을 사용한다.[1][4] 그리고 분할된 작업 공간들 간의 이동 시에 정확성이 요구되기 때문에 자신의 위치를 파악하여 원하는 위치로 이동할 수 있는 매핑 방식의 청소 로봇들을 사용하여야 한다. 하지만 매핑 방식의 청소 로봇은 비전 센서와 영상에 대한 정보를 처리하기 위한 고성능의 하드웨어로 구성되어 있기 때문에 고가라는 단점이 있다. 더군다나 다개체 청소 로봇에 매핑 방식의 청소 로봇을 여러 대 사용할 경우 엄청난 비용이 요구될 것이다.

이러한 비용적인 단점을 극복하기 위해서 매핑 방식의 청소 로봇보다 저렴하면서 청소 성능이 유사한 성능을 가진 청소 로봇을 여러 대 사용하여 다개체 청소 로봇 시스템을 구축한다면 저비용으로도 청소 효율성이 좋은 다개체 청소 로봇 시스템을 구축 할 수 있을 것이다.

그래서 본 논문에서는 매핑 방식의 청소 로봇과 유사한 성능을 가지면서 저가의 하드웨어로 구성된 인간과의 상호 보완 알고리즘을 기반으로 한 청소로봇[2][3]을 이용하여 다개체 청소 로봇 시스템을 구성함으로써, 비용적인 부분에 대한 단점을 개선하려고 한다. 또한 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용하여 청소 공간의 분할 및 할당에 대한 작업을 사람이 보완해 줌으로써 복잡한 알고리즘을 사용하지 않고 효율적인 다개체 청소 로봇 시스템을 구축할 것이다.

하지만 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 있는 그대로 다개체 청소 로봇에 적용한다면 효율적인 다개체 청소 로봇 시스템을 구축 할 수 없다. 그래서 본 논문에서는 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하였을 때에 요구 사항들을 정의하고 이에 알맞은 구조를 제안하고자 한다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 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.[4]

<표 1> 경로 계획 분류

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

<표 1>에 있는 경로 계획의 방법들은 장단점이 존재하기 때문에, 작업 환경에 알맞은 경로 계획을 선택하는 것이 시스템 전체의 효율성에 영향을 미칠 것이다. 이와 마찬가지로 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

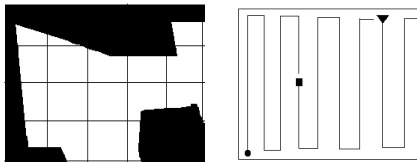
목적과는 달리 2차원 공간을 로봇이 어떻게 효과적으로 커버하느냐가 주요 쟁점 사항이다.[5] 또한 청소 공간이 분할되어 있기 때문에, 공간과 공간의 이동에 관련된 경로 계획도 요구된다. 그리고 청소 로봇들이 이동 시에 이들 간의 충돌이 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 청소 로봇들 간의 충돌을 회피하기 위한 방법 또한 필요하다.[7]

**2.2 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.[6]

- 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.[6] 또 다른 방식인 길이로 분할하는 방식은 공간에 대한 경로를 미리 생성하여 로봇의 수에 따라 길이를 공평하게 나눈다. 이렇게 나누어진 경로를 로봇들에게 할당하여 작업을 수행한다.[5]



(그림 1) 작업 공간의 분할에 대한 예시

**2.3 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소로봇**

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 적용할 수 있으며 가격이 저렴한 반면에 완벽한 청소를 기대하기 힘들다. 이와는 다르게 매핑방식은 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.

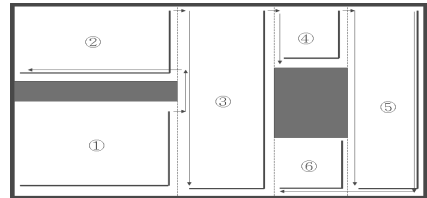
그래서 매핑방식의 청소 로봇이 고성능의 장치를 필요로 하기에 청소 로봇의 가격이 비싸다는 단점과 랜덤방식이 가진 비효율적인 청소 로봇의 작업을 극복하기 위한 방법으로 청소 공간의 정보를 사람이 청소 로봇에게 알려주는 방식인 사람과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇이 제안되었다.[2][3]

**2.3.1 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소로봇의 개념**

인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소로봇은 기본적으로 region filling 알고리즘을 사용한다. region filling 알고리즘을 수행하기 위해서 청소로봇의 움직임을 제어하는 6가지 명령어 세트가 존재한다. 이러한 기본 명령어들은 장애물의 충돌 감지를 통해 수행되어 진다. 기본 명령어 6개는

Forward, RT(Right Turn), LT(Left Turn), BRT(Back trace right turn), BLT(Back trace left turn), Goto이다. 앞의 5개의 명령어는 청소 로봇이 직선 운동과 회전 운동에 대한 명령어이고, 마지막의 Goto 명령어는 여러 개의 청소 공간들이 존재 할 때, 공간과 공간 사이를 이동할 때 사용된다.[3]

인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇은 청소 공간에 대한 좌표를 상대 좌표로 알려준다. 즉 청소가 시작되는 좌표가 기준이 되어 (0.0)좌표가 된다. 그리고 각 청소 공간에 대한 좌표 외에도 공간과 공간의 이동 시에 필요한 Goto 좌표 역시 사람이 정보를 주어 이동한다.[3] (그림 2)에서 보여주는 것과 같이 각 선들의 끝점들을 좌표 정보로 준다. 굵은 실선은 청소 공간에 대한 좌표 정보이고, 화살표는 공간과 공간을 이동하기 위한 Goto 좌표 정보이다.



(그림 2) 상대 좌표 정보에 대한 예시

이러한 움직임을 위한 명령어 외에도 다개체 청소 로봇을 사용하려면 로봇 간의 통신 프로토콜이 필요하다. 이 통신 프로토콜에 대한 내용은 3.1절에서 다를 것이다.

**2.3.2 인간이 청소로봇에게 정보를 전달하는 방법**

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

<표 3> 청소로봇에게 정보를 전달하는 방식

| 분류              |    | 전달 방법                        |
|-----------------|----|------------------------------|
| 사용자가 직접 알려주는 방식 | 직접 | 수작업을 직접 이동 리모트 컨트롤러를 이용하여 이동 |
| 외부 장치를 이용한 방식   | 이  | 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 수 있다.

**3. 제안 내용**

기존의 다개체 청소 로봇 시스템에서는 가격이 비싼 매핑 방식의 청소로봇을 여러 대 사용하기 때문에 시스템 구축에 있어서 많은 비용이 든다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 매핑 방식의 청소 로봇 성능과 유사하지만 저가의 청소 로봇인 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용함으로써 이를 극복하려 한다. 하지만 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용할 때, 효율적인 청소 작업을 위하여 보완해야할 점이 존재한다. 가장 먼저 보완해야할 점은 로봇들이 할당 받은 청소 공간들에 대하여 어떤 공간이 청소 작업이 이루어지고 있는지, 어떤 청소 공간을 청소해야하는지를 로봇들끼리 알 수 없다는 것이다. 그렇기 때문에 로봇들끼리 청소 공간에 대한 작업 상태 정보를 알 수가 없으면 중복적인 청소가 많이 발생한다. 그리고 또 다른 보완 점은

청소 로봇이 청소 작업 공간들을 이동할 때 필요한 알고리즘이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 로봇 간의 제어와 협업에 필요한 통신 프로토콜과 이 통신 프로토콜을 이용하여 청소 작업 중인 작업 공간에 대하여 중복된 청소를 하지 않고, 다음 청소 작업 공간으로 이동할 수 있도록 하는 이동하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

**3.1 제어와 협업을 위한 통신 프로토콜**

할당된 청소 공간들을 청소 한 후 청소 작업을 해야 할 다른 공간으로 이동 할 때, 여러 대의 로봇이 중복적으로 이동할 수 있으며, 또 청소 작업이 진행되고 있는 공간에 또 다른 청소 로봇이 청소를 시작하여 중복하여 청소 작업을 수행하는 경우가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 청소 로봇들 간의 통신을 이용하여 청소 로봇들 간의 정보를 공유함으로써, 이를 해결할 수 있을 것이다. 그래서 본 논문에서는 청소 로봇들 간의 통신 프로토콜을 만들어 청소 로봇들을 제어할 수 있도록 하여 문제점을 해결하고자 한다.

본 논문에서는 통신 방법이나 통신 장비에 대한 것을 다루는 논문이 아니기에 아래와 같이 가정이 필요하다.

- 모든 로봇들 간에는 통신이 가능하다.
- 로봇들 간의 통신은 장애물이나 거리와 상관없이 통신할 수 있다.
- 브로드캐스팅 방식의 통신을 사용하여 모든 정보는 공유된다.

본 논문에서는 <표 4>처럼 청소 로봇을 구분할 수 있는 RID, 현재 있는 청소 공간이나 이동해야하는 청소 공간을 나타내는 CArea, 현재 로봇이 청소 작업 중인지 아니면 청소를 완료하고 이동 중인지 나타내는 RState 3가지를 통신 프로토콜의 기본 형태로 만들려고 한다. RID는 청소 로봇에 고유 인식 번호로 로봇이 어느 장소에 있으며, 어떠한 작업을 하고 있는지를 알기 위한 인식자이다. CArea는 공간에 대한 좌표 정보와 다음 공간으로 이동에 대한 Goto 좌표가 저장된 스택에 링크된 주소값이다.

<표 4> 통신 프로토콜 형태

| RID      | CArea    | RState   |
|----------|----------|----------|
| 로봇 고유 번호 | 작업 공간 번호 | 로봇 수행 상태 |

RState 비트에 따라 로봇의 현재 상태를 나타낸다. 본 논문에서는 4가지의 상태가 존재하기에 2비트로 상태를 표현하려고 한다. 00 비트일 때는 청소 작업 공간에 대한 정보만을 할당 받은 상태를 나타내고, 01 비트는 할당 받은 청소 공간들 중에 청소 로봇이 작업을 해야할 장소로 이동 중이라는 것을 의미한다. 그리고 10 비트는 청소 로봇이 청소 작업을 수행 중에 있다는 것을 나타내며 11은 할당 받은 현재 작업하고 있었던 청소 공간에 대한 작업에 대해 완료되었다는 것을 알리는 것이다.

<표 5> RState 상태

|        |    |         |
|--------|----|---------|
| RState | 00 | 초기 상태   |
|        | 01 | 공간 이동   |
|        | 10 | 청소 작업 중 |
|        | 11 | 청소 완료   |

청소 로봇들은 자신이 동작 중이라는 것을 알리기 위해 주기적으로 통신을 해야 한다. 그 이유는 청소 로봇들 중에 작업 도중 배터리가 없어 멈추거나 청소 로봇의 문제로 고장이 났을 경우 청소 작업이 이뤄지지 않는 공간이 발생할 수 있기에, 다른 로봇이 이 작업 공간에 대한 청소 작업을 대체할 수 있도록 해야 하기 때문이다.

기존의 인간과의 상호보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇은 작업 공간에 대한 정보와 Goto좌표값에 저장되는 스택을 가지고 있다.[2][3] 다체계 청소 로봇 시스템을 적용하기 위해서는 작업 공간에 대한 정보와 Goto좌표값 외에도 청소 작

업 공간에 대한 정보가 추가되어야 한다. 이 정보에 RState가 저장된다면 현재 작업 공간들에 대한 상태들을 로봇들이 알 수 있기 때문에 중복 청소를 예방하고, 청소가 되지 않은 작업 공간들에 대한 정보를 알 수 있어 모든 작업 공간에 대해 청소가 가능할 것이다. <표 5>로 예를 들면, 현재 청소 공간 1은 작업 상태가 11이므로 청소가 완료된 것이다. 청소 공간 2는 작업 상태가 10이기 때문에 현재 청소 작업이 진행 중인 것이고, 청소 공간 3은 작업 상태가 01로 현재 청소 작업을 하기 위한 로봇 3의 공간으로 이동 중이라는 것을 나타낸다.

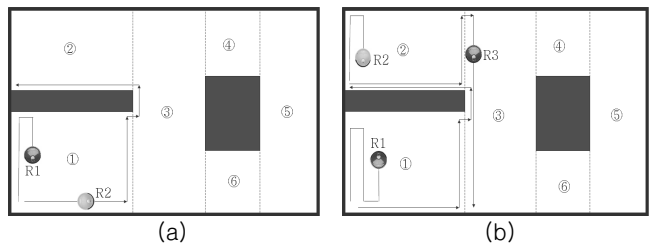
<표 5> 좌표 정보 값과 상태 정보가 저장된 스택

| 공간 번호 | 공간 좌표 | Goto 좌표                      | 작업 상태 |
|-------|-------|------------------------------|-------|
| 1     | (2,3) | (1, 0°), (3, -90°)           | 11    |
| 2     | (3,4) | (6, 180°)                    | 10    |
| 3     | (2,6) | (2, 90°), (4, 0°), (2, -90°) | 01    |
| ⋮     | ⋮     | ⋮                            | ⋮     |
| ⋮     | ⋮     | ⋮                            | ⋮     |

**3.2 다체계 청소 로봇 시스템에서 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇의 공간 이동**

3.1절의 통신 프로토콜을 기반으로 하여 청소 로봇들은 공간과 공간 사이를 이동하여야 한다. 그 이유는 청소 공간에서 이루어지는 작업을 알고 작업이 이뤄지는 곳 외에 장소로 이동하여 중복 청소를 하지 않음과 동시에 청소 작업 시간에 대한 절약을 위해서이다.

2.3.1절의 (그림 2)와 같이 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇은 청소 공간에 대한 모든 정보와 공간과 공간의 이동에 대한 좌표까지도 인간이 알려준다.[3] 즉, 청소 로봇은 인간이 알려준 좌표 내((그림 2)의 굵은 선과 화살표)에서 모든 공간들을 이동할 수 있다는 것이다. 그렇기 때문에 모든 청소 로봇들이 청소 공간에 상대 좌표에 대한 모든 정보를 공유한다면 다른 로봇들 또한 작업 공간을 이동할 수 있다. 하지만 이 때, 모든 로봇은 같은 지정에서 출발해야한다는 제약 사항을 두어야 한다. 그 이유는 로봇의 출발 지점을 (0,0)으로 하기 때문에 청소 로봇들의 시작 위치가 다르다면 제대로 청소 작업이 이루어질 수 없다는 것이다. 그래서 본 논문에서는 모든 로봇이 같은 지정에서 출발한다는 것을 제약 사항으로 두고 각 로봇들의 출발은 일정 시간 딜레이(delay)를 두어 출발한다고 가정한다. (그림 2)의 정보를 모든 로봇들이 공유하고 있다는 가정 하에 (그림 3)의 예시를 통해 공간 이동 방법에 대하여 설명하고자 한다.



(그림 3) 정보 공유를 통한 공간과 공간 사이의 이동 예시

(그림 3)의 (a)에서 로봇 R1이 청소 공간 ①의 청소를 시작하면서 다른 로봇들에게 3.1의 통신 프로토콜을 이용하여 청소 공간 ①을 작업하고 있다는 것을 알린다. 일정 시간 후 로봇 R2가 청소 작업을 위해 이동을 시작하는데 R1이 청소 공간 ①을 작업 중인 것을 알고 있으므로 R2는 청소 공간 ②로 이동하기 위해서 청소 공간 ①의 작업 완료 좌표로 이동한 후 작업 공간 ①에서 작업 공간 ②로 이동하는 Goto 명령어에 따라 이동한 후 작업 공간 ②에 대한 청소 작업을 시작하고, 다른 로봇들에게 작업 공간 ②에 대해 청소가 시작되었음을 알려준다.

그리고 청소 로봇 R1이 작업 중에 로봇 R2가 이동하기 때

문에 로봇 간의 충돌이 생길 수 있다. 이 때는 충돌 회피 알고리즘[7]을 사용하거나 공간 이동에 대한 작업을 청소 작업보다 우선 순위를 우위에 두어 같은 공간 내에 이동하는 청소 로봇이 있는 경우 일정 시간 작업을 멈추는 방법으로도 로봇 간의 충돌을 예방할 수 있다.

(그림 3)의 (b)는 앞에서 설명한 것과 같은 방법으로 로봇 R3가 작업 공간 ③으로 이동하는 것이다.

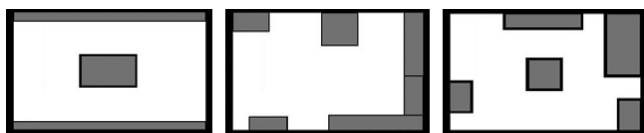
이와 같이 청소 작업 공간에 대한 정보를 모두 공유하고 3.1절에서 제안한 프로토콜을 이용하여 상태를 알려줌으로써, 청소 로봇들은 중복 청소 작업을 하지 않고 모든 작업 공간을 청소 할 수 있다. 하지만 이 방법은 (그림 3)의 (b)에서 로봇 R3가 작업 공간 ①에서 작업 공간 ③으로 이동시 작업 공간 ②를 거치지 않고 바로 이동한다면 상당히 짧은 거리로 이동 할 수 있다. 하지만 청소 로봇은 사람이 알려준 정보를 토대로 이동하기 때문에 작업 공간 ①, ②, ③을 모두 거쳐 이동하게 된다. 즉, 공간과 공간과의 이동 시에 불필요한 움직임이 많아진다 것이다. 이러한 단점이 존재하지만 복잡한 알고리즘을 사용하지 않고 공간과 공간 사이를 이동하기 때문에 다개체 청소 로봇 시스템 구축에 있어서 편리할 것이다.

**4. 실험 계획**

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 등에 대한 다양한 가상 디바이스(virtual device)가 지원되며 많은 실험을 통해 simulator의 정확성이 검증되었기 때문이다.[9][10]

인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용 시에 본 논문에서 제안한 보완점을 적용하지 않은 시스템과 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 시스템을 비교 할 것이며, 이 실험은 현재 진행 중에 있다. 그리고 각 맵의 형태에 따라 1대의 청소 로봇을 사용한 경우와 다개체 청소 로봇을 적용한 경우와의 시간 감소를 비교하여 맵의 형태에 따라 다개체 청소 로봇 시스템이 어떠한 효율성을 보이는지 조사할 계획이다. 또한, 본 논문에서 이용하는 인간과의 상호 보완 알고리즘을 사용한 청소 로봇은 인간이 청소 공간에 대한 분할과 할당을 해주기 때문에 작업 공간에 대한 분할 및 할당이 불균등하다. 그래서 기존 연구들의 방법처럼 청소 공간을 균등하게 분할 및 할당하는 방식과 인간이 청소 공간을 불균등하게 분할 및 할당하는 방식에 대해 어떠한 차이점이 있는지 비교분석 할 것이다.

비교 분석이 되는 청소 작업 공간에 대한 맵(map)은 같은 크기의 청소 공간으로 구성하여 실험할 것이다. (그림 4)의 예시를 보면, 각 맵의 형태는 다르지만 장애물과 벽에 대한 공간의 합과 청소를 해야할 공간의 합은 모든 맵이 일정하다. 청소 작업 공간을 일정하게 하는 이유는 서로 다른 형태의 맵들에 대하여 청소 성능을 비교할 때, 청소 작업 공간의 크기가 다르면 비교값에 대한 공평성을 기대할 수 없기 때문이다.



(그림 4) 청소 작업 공간 맵의 예시

**5. 결론**

본 논문은 기존의 다개체 청소 로봇에서 사용되는 매핑 방식의 청소 로봇을 대신하여 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하여 저가의 청소 로봇으로도 기존의 다개체 청소 로봇 시스템이 가능하다는 것을 보였다. 그리고 다개체 청소 로봇 시스템에 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 적용하

기 위하여 통신 프로토콜과 공간과 공간 사이를 이동하는 방법들을 제안함으로써 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용할 수 있도록 하였다.

그리고 실험을 통하여 협업을 하지 않는 다개체 청소 로봇 시스템과 본 논문에서 제안한 방식을 이용한 다개체 청소 로봇 시스템을 비교 분석하여 본 논문에서 제안한 방식의 효율성을 보이기 위하여 현재 실험 중에 있다.

향후 과제로 3.2에서 제안한 방법에서 불필요한 이동 거리를 줄이기 위한 알고리즘에 대하여 모색할 것이다. 또한, 인간과의 상호 보완 알고리즘을 이용한 청소 로봇을 다개체 청소 로봇 시스템에 적용하여 사용하기 때문에 청소 공간의 분할이나 할당이 균등하지 못하다. 그렇기 때문에 다른 청소 로봇은 작업을 완료하였으나 넓은 공간을 할당 받은 청소 로봇은 청소 작업을 완료하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이 때, 청소가 진행 중인 넓은 공간에서 청소 작업이 이뤄지지 않은 공간을 분할하여 작업이 완료가 된 청소 로봇이 이를 도와준다면 청소 작업 완료 시간이 더 줄어들 것이다. 그래서 향후 과제로 이를 해결 할 수 있는 방안을 찾으려고 한다.

**6. 참고 문헌**

[1] Y. Uny Cao<sup>1</sup>, 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 벡터 기반 청소 로봇 알고리즘", 한국정보과학회 학술발표논문집 한국정보과학회 2006 가을 학술발표논문집 제33권 제2호 (B), pp. 121-125, 2006

[3] Seungyong Kim, Kiduck Kim and Tae-Hyung Kim, "Human-Aided Cleaning Algorithm for Low-Cost Robot Architecture", Human-Computer Interaction, Part III, HCI 2007, LNCS 4552, pp. 366-375, 2007

[4] T. Arai and J. Ota, "Motion Planning of Multiple Mobile Robots", Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Automation, pp. 1761-1768, 1992

[5] 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

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

[7] 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

[8] 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

[9] 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

[10] 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