

# 저가 센서를 사용하는 고효율의 청소 로봇 구현 및 실험

박정규, 박정수, 전홍석<sup>o</sup>, 노삼혁

홍익대학교 컴퓨터 공학과, 건국대학교 컴퓨터 컴퓨터소프트웨어전공<sup>o</sup>

{parkjk, samhnoh}@cs.hongik.ac.kr, cmzace@gmail.com, hsjeon@kku.ac.kr<sup>o</sup>

## Implementation of High Performance Cleaning Robot with Inexpensive Sensors

Jung Kyu Park, Jung Soo Park, Heung Seok Jeon<sup>o</sup>, Sam H. Noh

Department of Computer Engineering, Hong-Ik University

Department of Computer Software, Konkuk University<sup>o</sup>

{parkjk, samhnoh}@cs.hongik.ac.kr, cmzace@gmail.com, hsjeon@kku.ac.kr<sup>o</sup>

### 요 약

현재 일반적으로 사용되고 있는 저가형 청소 로봇은 환경 지도를 사용하지 않기 때문에 주행시 문제가 발생하고 이런 이유로 청소 효율이 좋지 않다. 본 논문에서는 환경 지도를 사용하는 고가의 청소 로봇 처럼 동작하는 저가의 청소 로봇을 하드웨어 부분과 알고리즘 부분으로 나누어 제안한다. 제안하는 청소 로봇은 확장된 그리드 기반의 지도를 사용하여 청소를 수행한다. 본 논문에서 제안하는 로봇을 제작 하여 실험한 결과는 기존의 저가형 청소 로봇에 비해 제안한 청소 로봇이 효율적임을 보여주고 있다.

### 1. 서 론

최근 지능형 로봇 연구가 많이 이루어짐에 따라 다양한 분야에서 서비스가 가능한 로봇들이 등장하고 있다. 특히 청소 로봇은 사람의 노동력을 대신해 줄 수 있기 때문에 많은 가정에서 사용을 원하고 있는 로봇으로 서비스 로봇 중에 가장 판매가 많이 되고 있는 로봇이다[1, 2].

그러나 현재 많은 종류의 청소 로봇들이 판매되고 있지만 소비자의 만족도가 떨어지고 있다. 그 이유는 청소 로봇의 청소 효율이 사람에 비해서 높지 않다. 청소 로봇의 효율이 좋아지려면 청소 로봇이 동작하는 환경의 정보를 알고 있어야 한다[3]. 판매되는 고가의 청소 로봇들은 여러 가지 센서들을 부착하여 센서 정보를 통해 환경 지도를 구성 그것을 청소에 활용하고 있다[4,5,6]. 그러나 대부분의 저가 청소 로봇들은 여러 종류의 센서를 사용하지 않고 또한 환경 지도를 사용하지 않기 때문에 고가 청소 로봇에 비해서 청소 효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

저가의 청소 로봇이 위와 같이 단점을 가지고 있지만 현재 청소 로봇 시장에서는 저가의 청소 로봇이 많이 팔리고 있는 실정이다. 그 이유는 고가의 청소 로봇이 저가의 청소 로봇에서 비해서 너무 비싸기 때문이다.

본 논문에서는 청소 로봇에 저가의 센서를 장착하여 청소 로봇을 저가로 구성하여 그 성능이 고가의 청소 로봇 근접할 수 있는 저가의 청소 로봇을 제안하고자 한다. 제안하는 청소 로봇은 저가 청소 로봇의 구조의

단점을 해결할 수 있는 하드웨어 구조와 청소 효율을 높일 수 있는 알고리즘으로 구성되어 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 청소 알고리즘에 대한 관련 연구를 설명하고, 3장에서는 현재 판매되는 청소 로봇들에 대해서 설명한다. 4장에서는 기존 청소 로봇이 가지고 있는 문제점에 대해서 설명하고 이를 해결 할 수 있는 청소 로봇의 하드웨어 구성에 대해서 설명한다. 5장에서는 청소 로봇의 청소 알고리즘에 대해서 설명하고 있고 6장에서는 제작된 청소 로봇을 이용하여 실험한 결과를 토대로 알고리즘의 성능을 평가하고 있다. 7장에서는 결론에 대해서 설명하고 있다.

### 2. 관련 연구

청소 판매되고 있는 청소 로봇 대부분은 램덤 주행 기반의 청소 알고리즘을 사용하고 있다. 이 이유는 청소 로봇의 구현이 간단하다는 장점을 가지고 있지만 램덤한 주행을 하는 청소 로봇은 환경 지도를 사용하지 않기 때문에 주행의 비 효율성이 발생되고 이로 인해 청소 효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

램덤 주행 방식의 청소 알고리즘의 비 효율성을 개선하기 위해 많은 연구가 이루어 졌다. 그 중에 고가의 청소 로봇에서 많이 사용되는 알고리즘은 바둑판식 알고리즘이다[13,14,15]. 바둑판식 청소 알고리즘은 청소 구역을 격자 방식으로 나누어 청소하기 때문 존의 램덤 방식의 청소 알고리즘에 비해

표 1. 청소 로봇 현황

제조사	모델명	특징	제품 사진
I-Kosen	로보크린 폴드	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공, 브러시</li> <li>충격감지 센서</li> <li>33 만원</li> </ul>	
IRobot	Roomba Discovery	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공, 브러시</li> <li>충격감지 센서</li> <li>39 만원</li> </ul>	
LG 전자	로보킹	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공, 브러시</li> <li>물걸레</li> <li>초음파센서</li> <li>65 만원</li> </ul>	
KARCHER	RC-3000	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공, 브러시</li> <li>초음파 센서</li> <li>먼지 센서</li> <li>230 만원</li> </ul>	
한울	오토로	<ul style="list-style-type: none"> <li>진공, 브러시</li> <li>물걸레</li> <li>초음파 센서</li> <li>디지털카메라</li> <li>지도 작성</li> <li>297 만원</li> </ul>	

많은 성능 향상을 보일 수 있었다.

### 3. 청소 로봇의 동향

현재 시장에는 많은 종류의 청소 로봇들이 판매되고 있다. 가격대는 10만원 중반에서 약 300만원 대까지 다양하게 분포되어 있다. 표 1에 현재 판매되고 있는 청소 로봇을 요약해 놓았다. 다양한 청소 로봇들은 저가의 청소 로봇과 고가의 청소 로봇으로 구분할 수 있다. 50 만원 전후의 저가형 청소 로봇들은 대부분 충격 센서 하나만을 가지고 청소를 수행하기 때문에 청소 효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

그러나 200 만원의 이상의 고가의 청소 로봇들은 충격 센서 이외에 초음파 센서, IR 센서, 먼지 센서 등을 사용하여 환경 지도를 생성하고, 생성된 지도를 청소에 활용함으로써 청소 효율을 높이고 있다.

본 논문에서는 약 50만원의 제작비로 저가 센서를 장착한 청소 로봇을 개발하여 고가 청소 로봇만큼의 효율을 낼 수 있음을 보인다.

### 4. 청소 로봇의 하드웨어 구성

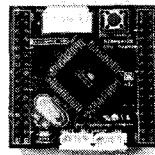
이 장에서는 기존 청소 로봇이 가지고 있는 하드웨어 구조의 문제점에 대해서 설명하고 그 문제점을 해결할 수 있는 하드웨어 구조에 설명한다.



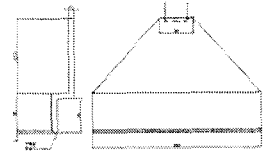
(a) 구동 바퀴



(b) 초음파 센서(SRF-04)



(c) 메인 컨트롤러



(d) 흡입 구조

그림 1. 하드웨어 구성 요소

#### 4.1 구동부

기존의 청소로봇들은, 저가형 또는 고가형, 청소 로봇의 크기를 줄이기 위해 직경이 작은 구동 바퀴를 사용하고 있다. 그렇기 때문에 국내 가정 환경에 많이 존재하는 문턱과 창틀을 넘지 못하는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서 구상하는 청소 로봇은 가정 환경에 노출되어 있는 문턱과 창틀을 쉽게 이동할 수 있는 청소 로봇을 가정하고 있다. 앞에서 설명한 가정 환경의 문턱 높이(약15mm~30mm)와 창틀 높이(약 30~80mm)를 고려하여 청소 로봇이 동작할 때 문제가 발생하지 않도록 구동 바퀴의 지름을 약 120mm, 폭 65mm의 고무 바퀴를 선택하였다. (그림 1(a) 참고). 또한 청소 로봇 무게를 충분히 견딜 수 있고 바퀴의 구동력을 충분히 발휘할 수 있도록 1324mN·m(13.5 kgf·cm) 토크의 모터를 사용하였다.

#### 4.2 센서부

지능형 로봇은 주변 환경 정보를 파악하기 위해서 센서를 사용하고 있다. 정밀도가 높은 센서를 사용할수록 로봇의 환경 정보를 최대한 정확히 알 수 있고, 로봇은 파악한 정보를 사용하여 로봇의 임무를 정확히 수행할 수 있다. 그러나 기존의 저가형 청소 로봇들은 청소 로봇의 단가를 낮추기 위해서 최소한의 센서만 사용하고 있다. 예를 들어 현재 판매되는 대부분의 저가형 청소 로봇들은 충격 감지 센서를 사용하고 있다. 청소 로봇이 랜덤 방식의 주행 중 물체와 충돌을 충격 감지 센서를 통해 파악하게 되고 이때 청소 로봇은 랜덤한 방향을 선택하여 회전, 이동하게 된다.

충돌 감지 센서를 사용했을 경우 청소 로봇 제작의 단가는 내릴 수 있지만 청소 효율은 떨어지게 된다. 만약 정밀도가 높은 레이저 범위 센서를 사용하게 되면 정확한 환경 정보를 얻을 수는 있지만 현재는 너무 고가의 가격이라 청소 로봇에 사용할 수 없는 현실이다.

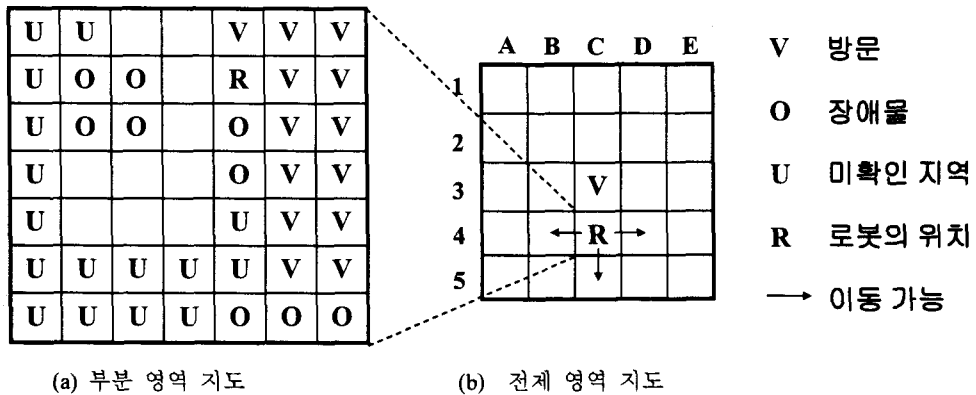


그림 2. 부분 영역 지도와 전체 영역 지도의 관계

본 논문에서 제안하는 청소 로봇과 저가의 청소 로봇과의 가장 큰 차이는 충돌 센서 대신 초음파 센서를 사용하는 것이다. 가정용 청소 로봇에 사용하는 센서로 초음파 센서를 사용한 이유는 레이저 범위 센서보다 안전하고, 상대적으로 가격이 저렴하며, 오차가 있지만 정확한 거리를 측정할 수 있기 때문이다. 청소 로봇에 그림 1(b)와 같은 초음파 센서를 사용하면 청소 로봇이 동작하는 환경에 대한 정보를 얻을 수 있고, 내부적으로 이 정보를 이용하여 환경 지도를 생성하면 로봇이 이 지도를 이용하여 기존 저가의 청소 로봇에 비해서 정확한 청소 임무를 수행할 수 있다. 환경 지도 작성에 대한 설명은 3장에서 자세히 설명한다. 제작에 사용된 초음파 센서는 최소 30mm에서 최대 3000mm까지 측정할 수 있는 것으로 총 3개를 사용하여 청소 로봇의 앞에 1개, 측면에 2개를 부착하였다.

#### 4.3 메인 컨트롤러

청소의 효율을 높이기 위해서는 환경에 대한 지도를 가지고 청소를 수행한 구역과 수행하지 않는 구역을 구분할 수 있어야 한다. 이런 기능을 수행하기 위해서는 청소 로봇이 동작 중 환경에 대한 지도를 생성하면서 로봇 자신의 위치를 추정하는 기술(SLAM)을 사용해야 한다[7,8,9,10,11,12]. 고가의 청소 로봇은 SLAM 기술을 사용하기 위해 고가의 메인 컨트롤러를 사용하고 있다. 이렇게 할 경우 청소의 효율을 높일 수 있지만 단가가 많이 올라가는 단점이 있다. 본 논문에서는 단가가 낮은 메인 컨트롤러를 최대한 활용하여 고 효율을 내는 것을 목표로 하고 있다.

청소 로봇 제작에 사용된 메인 컨트롤러는 그림 2(c)의 Atmega128로 가장 큰 장점은 가격이 저렴하다는 것과 내장 메모리가 4KB, 코드를 위한 플래시 메모리가 128KB로 MCU의 응용 범위가 넓다는 것이다. 제작한 청소 로봇은 이 장점을 최대한 활용하여 환경 지도를 작성하는데 사용하였다. 단점으로는 입출력을 위한 포트수가 6개로 많은 장치를 제어하기 힘들고, 한 포트에 여러 기능이 중첩되어 있어 특정 기능 이용 시

포트를 공유하는 다른 기능은 사용할 수 없다는 것이다.

#### 5. 청소 로봇의 청소 알고리즘

앞 절에서 언급한 것과 같이 청소 로봇의 효율을 높이기 위해서는 로봇이 환경에 대한 지도를 가지고 있어야 한다. 본 논문에서 제작한 청소 로봇은 지도를 생성하기 위해 널리 알려진 그리드 기반의 지도[5] 방법을 사용하며 그 기능을 확장하고 있다.

##### 5.1 지도 생성

청소 로봇에 사용되는 메인 컨트롤러 Atmega128은 내장 메모리가 4KB로 아주 작기 때문에 이 메모리를 최소로 사용하면서 최대의 공간을 처리할 수 있는 확장 그리드 지도 방법을 사용한다. 청소 로봇은 동작 중 2가지 지도를 생성하면서 일을 처리하게 된다.

첫 번째 지도는 부분 영역 지도로써 청소 로봇이 동작하는 실제 환경을 표시하는 지도이다. 그림 2(a)는 현재 청소 로봇이 동작하고 환경의 부분 영역 지도이다 (50 X 50 셀의 일부분만 표시함). 부분 영역 지도에서 사용하는 기본 단위(한 셀)는 10 Cm X 10 Cm로 내부적으로 1 바이트 공간을 사용한다. 이 기본 단위에는 환경에 있는 장애물(O), 미 확인 지역 (U), 센서로 측정할 수 없는 지역), 청소 로봇이 청소한 지역 (V), 빈 공간 등 4 가지 상태를 표시할 수 있다. 예를 들어 일반 가정집의 방 하나의 크기를 5 m X 5 m 라고 가정하면 청소 로봇이 지도를 생성하기 위해서는 약 2500 바이트의 공간이 필요하게 된다. 이와 같이 작업할 경우 청소 로봇이 동작하는 작업 공간이 부분 영역 보다 클 경우 현재 사용하는 메인 컨트롤러로 모두 처리할 수 없는 문제가 생긴다. 이 문제를 해결하기 위해 두 번째 지도를 사용하게 된다.

두 번째 지도는 전체 영역 지도로써 부분 영역 지도의 요약된 정보들로 이루어진 집합체로 청소 로봇이 동작하는 환경이 부분 영역의 크기 보다 클 경우에 사용될 수 있다. 전체 영역 지도의 한 단위(한 셀)는

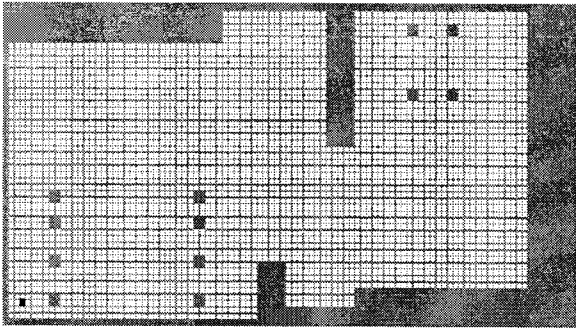


그림 3. 실험 환경

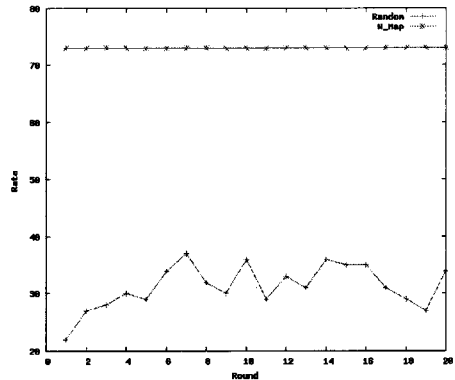
부분 영역 지도를 요약한 정보 즉 로봇이 방문하여 처리한 정보와 다른 인접 영역으로 이동 가능한지 여부를 표시한다. 그림 2(b)는 청소 로봇이 동작하고 있는 전체 영역을 표시한 지도이다. 그림 2(b)와 같이 25개의 셀(25 바이트)과 그림 2(a)를 동시에 사용할 경우 약 2525 바이트로 25 m X 25 m 공간의 영역을 처리할 수 있다. 기존 그리드 방법이라면 25 m X 25 m 공간을 처리하기 위해서는 62,500 바이트가 필요하게 된다. 이 내용으로 볼 때 어떤 공간을 청소하기 위해서 전체 영역 지도와 부분 영역 지도를 사용한다면 기존 그리드 방법에서 사용하는 메모리의 약 3%만 있으면 처리가 가능하다.

### 5.2 청소 알고리즘

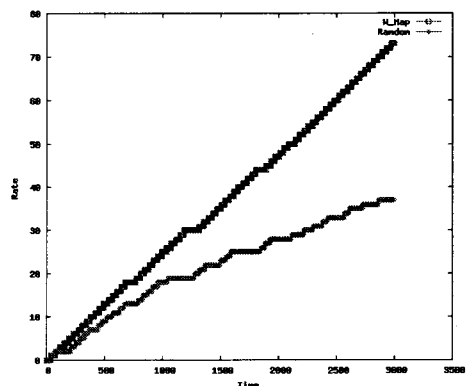
청소 로봇이 처음 구동되면 부분 영역 지도를 생성하고 로봇이 부분 영역 지도 가운데 있다고 가정한다. 최초 동작 이후 센서를 통해 측정된 데이터를 이용하여 좌측 하단으로 이동을 하면서 지도를 업데이트 한다. 이동이 완료되면 바둑판으로 이동을 하면서 청소를 수행하게 된다. 이동이 이루어진 영역은 청소가 완료된 지역(V)으로 표시를 하고 로봇은 이 영역을 장애물이 있는 영역(O)과 같이 인식을 하여 중복 방문을 방지하게 된다. 부분 영역의 청소가 완료되면 생성된 지도를 참고하여 인접한 부분 영역으로 이동 가능한 경로가 있는지 판단하고, 전체 영역 지도를 참조를 하여 인접 부분으로 이동하게 된다. 그림 2(b)에서 로봇은 4C에 있다면 로봇이 부분 영역을 모두 청소했을 때 로봇은 4B, 4D, 5C 등으로 이동할 수 있다.

### 6. 실험 결과

본 논문에서는 제시한 하드웨어 구조로 실제 청소 로봇을 제작하였으며 제작된 하드웨어와 청소 알고리즘의 효율성을 증명하기 위해서 실제 청소 실험을 하였다.



(a) 청소 방법에 따른 청소율



(b) 시간대 별 청소율의 변화

그림 4. 청소 로봇 실험 결과

### 6.1 실험 환경

실험 환경은 일반 보편적인 아파트 환경의 거실과 부엌을 모델링 하였다. 그림 3과 같이 가로 10m, 세로 5m의 공간을 할당하였고 그림에서 검은색 공간은 장애물로, 흰색 공간은 장애물이 없는 구역으로 설정하였다. 그림 내부의 검은 점들은 가정에 많이 존재하는 식탁과 소파를 가정하였다. 그리고 좌측 하부에 검은 점은 로봇의 초기 시작 위치이다. 실험 환경의 전체 단위는 5,000로 설정하였고, 10Cm x 10Cm를 지도에서 한 단위로 설정하였다. 실험에서는 로봇이 3,000 단위만 이동하는 것으로 설정하였다.

위 실험 환경에서 로봇이 청소를 수행했을 때 청소율과 시간대별 청소율을 측정하여 제작한 청소 로봇의 효율을 확인하였다.

### 6.2 실험 분석

첫 번째로 랜덤한 주행을 하며 청소를 하는 청소 로봇과 본 논문에서 제시한 청소 로봇의 청소율

비교하기 위해 그림 3의 실험 환경에서 20회 청소를 수행하였다. 실험 결과는 그림 4(a)에서 보여주고 있다. 그래프의 가로 축은 청소의 횟수이고, 세로 축은 청소율을 표시하고 있다. 20회의 청소를 수행했을 때 랜덤한 주행을 하는 청소 로봇은 평균 29.5%의 청소율을 보였고, 본 논문에서 제작한 청소 로봇은 평균 75%의 청소율을 보였다. 그 이유는 랜덤한 주행을 하는 로봇은 청소한 구역을 다시 방문하여 반복 청소하고, 일정 구역에 갇혀 나오지 못하기 때문이다. 그러나 제작한 청소 로봇은 로봇이 생성한 지도를 기반으로 청소를 하기 때문에 앞의 문제가 발생하지 않았고, 그런 이유로 랜덤한 주행을 하는 로봇에 비해서 최대 331% 좋은 효율을 보일 수 있었다.

두 번째로 시간에 따른 청소 효율을 비교하였다. 실험 결과는 그림 4(b)에서 보여주고 있다. 그래프의 가로 축은 실험 시간, 세로 축은 청소율이다. 그림 4(b)의 위쪽의 그래프가 본 논문에서 제시한 청소 로봇의 효율이고 아래쪽이 랜덤한 주행을 하는 청소 로봇의 효율이다. 랜덤한 주행을 하는 로봇은 시간의 흐름에 따라 청소 효율이 느리게 증가하고 있다. 예를 들어 시간이 1050에서 1250 사이를 보면 청소 효율이 증가하지 않고 일정한 것을 볼 수 있다. 그 이유는 첫 번째 실험에서 설명한 것과 같이 랜덤한 주행의 비효율성 때문이다. 그러나 본 논문에서 제시한 로봇은 청소 로봇은 시간의 흐름에 따라 청소 효율이 증가하고 모습을 보이고 있다. 이것은 랜덤한 주행의 문제를 해결하기 지도에 기반한 청소를 하기 때문이다.

## 7. 결론

본 논문에서는 현재 일반적으로 사용되고 있는 저가형 청소 로봇의 비 효율성을 문제점을 해결하기 위해 지도에 기반하는 청소 로봇을 제한하였다. 제한한 청소 로봇은 저가이지만 고가의 청소 로봇에 해당하는 청소 효율을 보이는 것을 실험을 통해 증명하였다.

현재 사용하는 청소 알고리즘은 바둑판식을 기반으로 하고 있다. 차후에는 청소 알고리즘을 보강하여 실험하려고 한다. 또한 로봇이 동작하는 환경을 고정된 물체와 동적인 물체가 동시에 존재하는 것을 고려하려고 한다. 이러한 상황에서 청소 로봇이 동작할 수 있도록 연구할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(No. R0A-2007-000-20071-0)

## 참고 문헌

- [1] IFR: International Federation of Robotics, <http://www.ifr.org/statistics/keyData2005.htm>
- [2] 전자부품연구원, <http://www.keti.re.kr/>
- [3] S. Thrun, "Robotic Mapping: A Survey," In G. Lakemeyer and B. Nebel, editors, *Exploring Artificial Intelligence in the New Millennium*. Morgan Kaufmann, 2002.
- [4] S. Domnitcheva, "Smart Vacuum Cleaner - An Autonomous Location-Aware Cleaning Device", in *Proceeding of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing*, 2004.
- [5] Elfes, A "Sonar-based Real-World Mapping and Navigation," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 3(3):249-265, 1986.
- [6] M. Philipose, K. P. Fishkin, D. Fox, D. Hahnel and W. Burgard, "Mapping and Localization with RFID Technology", in *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004.
- [7] R. Biswas, B. Limketkai, S. Sanner, and S. Thrun, "Towards object mapping in dynamic environments with mobile robots", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2002*.
- [8] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, and B. Wegbreit, "Fast-SLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem," in *Proceeding of the AAAI National Conference Artificial Intelligent*, 2002.
- [9] Aycard, O.; Laroche, P.; Charpillat, F., "Mobile robot localization in dynamic environments using places recognition", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1998.
- [10] D. Hahnel, R. Triebel, W. Burgard, S. Thrun, "Map Building with Mobile Robots in Dynamic Environments", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2003.
- [11] D. Wolf, G. S. Sukhatme, "Online Simultaneous Localization and Mapping in Dynamic Environments", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004.
- [12] D. Wolf, G. S. Sukhatme, "Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping in Dynamic Environments", *Autonomous Robots*, 2005.
- [13] G. Schmidt and C. Hofner, "An Advanced Planning and Navigation Approach for Autonomous Cleaning Robot Operations," in *Proceedings of the IEEE Int.Symposium on Intelligent Vehicles*, pp.364-369, 1995.
- [14] I. ULirich, F. Mondada and J.-D. Nicoud, "Autonomous Vacuum Cleaner", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 19, pp.233-245, 1997
- [15] R. Neumann de Carvalho, H. A. Vidal, P. Viera, M.I. Riberio, "Complete Coverage Path Planning Guidance for Cleaning Robots," in *Proceedings of the IEEE Int. symposium on Industrial Electronics*, vol.2, 1997