저비용 로봇 구조를 위한 벡터기반 청소 로봇 알고리즘

김승용°, 김기덕 , 김태형
한양대학교 컴퓨터공학과
{kimsy°, kdkim , tkim}@cse.hanyang.ac.kr

A Vector-based Cleaning Robot Algorithm for Low-cost Robot Architecture

Seung-Yong Kim°, Ki-Duck Kim , Tae-Hyung Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University

요 약

청소 로봇은 지도 작성 및 위치 인식을 기준으로 청소 방법을 랜덤(random)방식과 매핑(mapping)방식으로 분류 할 수 있다. 랜덤방식은 지도를 작성하지 않아 가격경쟁력이 있지만 효율이 떨어진다. 반면, 매핑방식은 지도를 작성하므로 청소 효율이 높지만 상대적인 가격경쟁력이 떨어진다. 그러므로 랜덤방식과 매핑방식의 문제점들을 보안하기 위해 본 논문은 고가의 센서 정보를 사용하지 않고 로봇이 주행 중에 발생되는 벡터(방향과 거리)값을 이용하여 로봇에게 지도 정보를 제공하는 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

청소 로봇이 작업 공간을 자율적으로 이동하면서 완벽하게 청소하기 위한 많은 연구들이 있었다. 그러한 기존 연구들은 로봇의 위치 인식 여부를 기준으로 랜덤방식 청소와 매핑방식 청소로 분류할 수 있다.

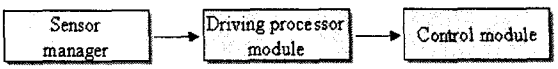
랜덤방식은 환경에 대한 지도 작성을 하지 않고, 충돌 감지 센서만을 의존하여 로봇이 벽이나 장애물과 충돌할 경우 이동경로를 변경하면서 청소를 하기 때문에 고가의 센서와 고성능의 처리장치를 필요로 하지 않는다.[1][2] 랜덤방식의 청소 로봇이 고가의 장치를 사용하지 않아 가격적인 이득이 있을지라도 로봇이 랜덤한 움직임으로 청소를 진행하기 때문에 청소 공간의 많은 중복과 청소한 공간, 청소할 공간의 연속성이 결여된다는 문제가 있다. 반면, 매핑방식은 환경에 대한 지도 작성과 위치 추정을 하고 청소를 진행하기 때문에 랜덤방식의 문제점을 보안하여 좀더 효율적인 청소가 가능하다. 하지만 고가의 장비나 비젼(vision) 센서를 사용하기 때문에 가격경쟁력에서 뒤쳐진다. 그로인해 상대적인 가격대 성능비의 많은 차이로 인하여 랜덤방식이 주로 사용되고 있다.[5]

일반적으로 청소 작업이 일정한 공간 내에서 오랜 기간 반복해서 행하여지기 때문에 일정한 방향성 없이 청소하는 것과 작업 공간의 정보를 얻기 위해 고가의 장비를 사용하는 것은 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 효율적인 청소를 위한 지도 작성시 요구되는 고가의 센서나 비젼 센서를 사용하지 않고 로봇의 주행 중에 추출할 수 있는 벡터(방향과 거리) 정보를 이용하여 로봇에게 지도 정보를 제공하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 청소 로봇의 주행 시스템

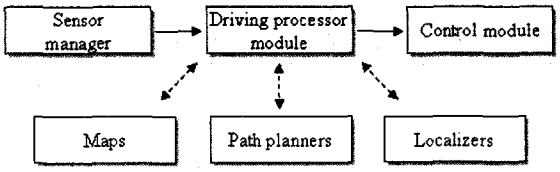
청소 로봇의 주행은 랜덤방식과 매핑방식 두가지로 분류할 수 있다.[5]



<그림 1 랜덤방식의 주행 시스템>

<그림 1>의 Sensor manager는 범퍼, 초음파, 적외선 센서와 같은 여러 종류의 센서 정보들을 관리한다. 그리고 Driving processor module은 입력 받은 센서 값을 바탕으로 청소 로봇의 주행 알고리즘을 수행한다. 또한 Control module은 Driving processor module으로부터 받은 제어 명령을 통해 액추에이터(actuator)를 구동한다.

랜덤방식의 청소 로봇은 주어진 환경에 대한 지도 작성을 하지 않고, 랜덤하게 청소를 진행하기 때문에 중복 청소 공간과 청소 되지 않은 공간이 발생한다. 이러한 문제는 에너지 한계성을 가진 청소 로봇의 특징을 미루어 볼 때, 완벽한 청소를 보장하지 못한다. 하지만, 재청소를 위한 로봇의 충전이 필요 없는 좁은 청소 공간에서는 어느 정도 효과적인 청소를 행할 수 있다.



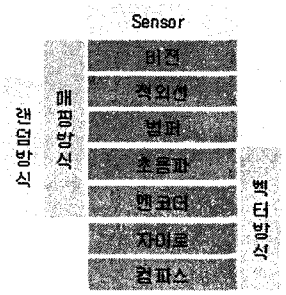
<그림 2 매핑방식의 주행 시스템>

<그림 2>의 Sensor manager와 Driving processor module, Control module 부분은 <그림 1>과 같지만 Driving processor module이 3가지의 모듈들과 상호 작용을 한다. 먼저 Maps는 입력 받은 센서 값을 바탕으로 지도를 작성하고 저장한다. 그리고 Localizers는 저장된 지도와 입력받는 센서 값을 이용하여 위치 추정을 한다. 또한 Path planners는 저장된 지도와 로봇의 위치 추정을 통하여 주행 경로를 계획한다.

매핑방식은 로봇 스스로가 주어진 환경에 대한 지도 작성을 하여 로봇이 청소한 영역을 알고 있기 때문에 청소 공간의 중복을 줄일 수 있다. 하지만, 로봇 스스로가 지도를 작성하고 로봇의 위치를 보정하기 위해서는 랜덤방식에서 사용하였던 적외선, 초음파, 범퍼 센서 이외에도 비젼 센서와 이를 처리하기 위한 고성능의 처리장치을 사용한다.

2.2 하드웨어 요구사항(H/W requirement)

청소 로봇은 각각의 주행 방법에 따라 필요로 하는 센서들이 다르다. 그 이유는 지도 작성과 위치인식을 위해 추가적으로 필요한 센서들이 있기 때문이다. 아래의 <그림 3>은 각 방식에 따라 필요한 센서들을 나열한 것이다.[2][5][14]



<그림 3 청소 로봇에 사용되는 센서>

모든 청소 로봇이 위와 같은 하드웨어 구성을 따르는 것은 아니지만 랜덤방식과 매핑방식 로봇에서 일반적으로 요구되는 하드웨어 구성이라 할 수 있다. iRobot사의 Roomba, LG전자의 Roboking, Electrolux사의 Trilobite 등이 랜덤방식의 청소 로봇이라 할 수 있고, 삼성전자의 Crubo, 한울로보틱스의 Ottoro가 매핑방식의 청소 로봇이라 할 수 있다. 랜덤방식은 장애물 회피를 위해 <그림 3>과 같은 센서를 필요로 하지만 매핑방식은 지도 작성과 위치 인식을 위해 비젼 센서를 추가로 필요로 한다.

본 논문에서 제안된 벡터 방식의 청소 로봇은 저가의 레이트 자이로(rate gyro)와 엔코더(encoder), 마그네틱 컴파스(magnetic compass)에서 취합된 센서 데이터를 확장된 칼만 필터(extended kalman Filter)를 사용하여 지도 작성 및 위치인식이 가능하게 할 것이다.[13] 그리고 초음파 센서는 일시적인 장애물에 대한 충돌 회피로 사용될 것이다.

2.3 경로계획(Path Planning)

경로계획이란 로봇이 목적지까지 최소한의 거리로 이동하게 하는 것이다. 이러한 경로계획의 방법은 전역 경로 계획(global path planning)와 국부 경로 계획(local path planning) 두 부분으로 나눌 수 있다.[6][8] 전역 경로 계획이란 전반적인 환경 정보를 가지고 로봇의 이동 경로를 계획하는 것이고, 국부 경로 계획은 초음파나 영상, 레이져 센서들로부터 입력되는 데이터에 의존하여 바로 앞에 존재하는 장애물의 크기와 위치등을 구별하여 경로를 계획하는 것이다.

로봇이 청소 공간을 완벽하게 청소하기 위해서는 전역 경로 계획과 국부 경로 계획이 서로 상호 보완적인 관계를 가져야 한다. 예를 들어, 로봇이 청소 중에 계단 주위에 있다면 적외선 센서로 계단을 감지하여 떨어지는 것을 피하면서 능동적으로 경로를 재설정해야 한다. 또한, 로봇이 배터리 소모등의 이유로 청소를 끝낸 후에 청소하지 못한 공간이 남아 있을 경우나 방을 옮겨서 청소할 때 이동하기 위한 경로계획과 위치 인식이 필요하다.

일반적인 모바일 로봇의 경로 계획과 청소 로봇 경로 계획 간의 차이점은 모든 작업 공간을 지나고, 중복영역을 최소화하도록 계획되어야 한다는 것이다.

2.4 지도 작성(Map Building)

청소 공간의 연속적이고 중복 없는 청소 작업을 위해 로봇의 지도 작성은 중요하다. 작성된 지도 안에서 로봇의 경로 및 위치를 나타내는 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있는데 지도 정보를 처음부터 입력하여 주행 중에 업데이트(update)하는 방법과 지도 정보가 전혀 없는 상태에서 주행을 통해 지도를 작성하는 방법이 있다.[5]

만약 로봇이 자율적으로 지도 작성을 한다면, 전체 주어진 환경을 이동하면서 정보를 수집하게 된다. 이때 만일, 거리계만으로도 정확한 위치 추정이 가능하다면, 데드 레컨(dead reckon) 값과 저장된 센서 값만으로도 정확한 지도 작성이 가능하다. 하지만 바퀴의 미끄러짐이나 청소 공간의 바닥 상태에 따라 데드 레컨 값의 오차 누적을 피할 수 없으므로, 위치 추정을 통한 로봇의 위치 오차를 해소해야 한다.[6][13]

앞서 2.1절에서 언급한 것과 같이 비젼 센서를 사용하여 지도를 작성하고 위치추정을 할 수 있다. 이때 지도를 작성하기 위해서는 입력받는 영상 속에 특징점들이 필요하다. 특징점들을 추출하는 방법은 바코드 반사기,

초음파 표식, 시각 패턴 등과 이용하는 인공적인 랜드마크(landmark)와 환경에 특별한 장치를 하지 않고 자연의 것을 이용하는 자연적인 랜드마크가 있다.

입력되는 영상들로 부터 특징점들을 추출하여 데이터베이스에 저장하고 이를 바탕으로 지도를 작성한다. 그리고 새로 입력되는 영상의 특징점과 저장된 특징점을 비교하여 위치를 추정하게 된다.[5]

비젼 센서를 사용하여 지도를 작성하는 과정은 다음과 같다.

(1) 임의의 위치에서 처음 입력되는 영상의 특징점들을 추출한다.
(2) 데이터 베이스에 특징점들을 저장한다.
(3) 다음 입력된 영상에 대해 특징점을 추출한다.
(4) 데이터 베이스에 저장된 기존의 특징점들과 매칭(matching) 정도를 판단하여 좌표 변환을 한다.
(5) 좌표 변환 된 특징점들을 데이터 베이스에 추가로 저장한다.
(6) 지도 작성이 끝날 때까지 (3)~(5)를 반복한다.

2.5 위치 추정(Localization)

모바일 로봇이 주행 시에 미끄럼이나 바퀴의 마찰력, 혹은 바닥의 상태 등에 따라 주행 오차가 발생된다. 따라서 이러한 오차를 주기적으로 보정해 주지 않으면 오차가 누적되어 이동로봇으로 하여금 오작동을 유발하게 된다. 그러한 오차로 인해 실제 환경과 로봇이 인식하는 환경이 달라 질수 있다.[3] 그렇기 때문에 모바일 로봇의 주행에 있어서 로봇 자신의 위치를 정확히 추정하는 위치 추정은 로봇의 성공적인 자율 주행에 있어 가장 중요한 문제 중 하나이다.

위치 추정 문제를 해결하기 위한 방법으로 데드 레커닝(Dead-reckoning)방법[13]과 칼만필터(Kalman Filter)를 이용한 방법[9], 마코프 위치추정(Markov localization)[10], 몬테카를로 위치추정(Monte Carlo localization)[11][12] 방법 등이 있다.

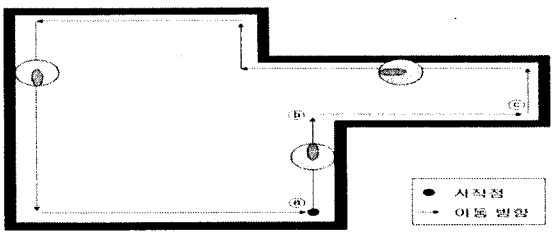
3. 제안내용

기존의 청소 로봇의 구동방식은 랜덤방식과 매핑방식 2가지가 존재한다. 랜덤방식의 청소 로봇은 지도 작성을 하지 않고, 청소를 시행하기 때문에 고성능의 처리장치나 많은 센서를 사용하지 않아 가격 면에서 매핑방식보다 저렴하다. 하지만 중복되는 청소 공간이 많고 청소 공간의 비연속적인 문제로 인하여 청소 효율성이 떨어진다. 반면에 매핑방식의 청소 로봇은 청소의 이동 경로를 결정하여 움직이기 때문에 중복성이나 비연속성이 적어서 청소 효율이 높지만, 지도 작성 및 자기 위치 추정을 위해 다수의 센서와 카메라와 같은 특별한 비젼 센서가 필요하며, 이러한 센서들로부터 받는 주변 환경에 대한 대량의 데이터를 처리하기 위해서는 고성능의 처리장치가 필요하기 때문에 가격이 비싸진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 매핑 방식의 청소 로봇이 고성능의 장치를 필요로 하기에 청소 로봇의 가격이 비싸다는 단점과 2.3절에서 언급한 부분 공간 청소를 위한 랜드마크를 사용하기 위한 추가적인 장치들 더 필요로 한다는 단점을 극복하기 위해 사람이 청소 로봇에게 청소 공간에 대한 정보를 직접 알려주는 방식을 제안한다. 또한 랜덤 방식의 청소로봇이 가지는 중복성과 비연속성 문제를 해결하기위해서, 벡터의 두 성분인 방향과 거리값을 이용하여 지도를 작성하는 알고리즘을 제안한다.

3.1 사람이 직접 청소 로봇에게 청소 공간을 지정

본 논문에서는 로봇 스스로가 아닌 사람이 직접 로봇을 손으로 이동 시키거나, 리모트 컨트롤러를 이용하여 이동시키면서 청소 공간에 대한 정보를 청소로봇에게 알려주고, 청소 로봇이 청소 공간에 대한 정보를 이용하여 비트맵(bitmap)형태로 지도를 작성하는 알고리즘을 제안한다. <그림 4>은 위에서 제안한 방식에 대한 예를 보여준다. 청소로봇의 시작은 ⓐ에서부터 시작하여 ⓑ, ⓒ을 거쳐 이동하고, 이동 방향은 화살표 방향으로 진행한다. 그리고 청소로봇이 시작점인 ⓐ에 다시 도착하였을 때, 청소 공간의 지정을 완료한다.

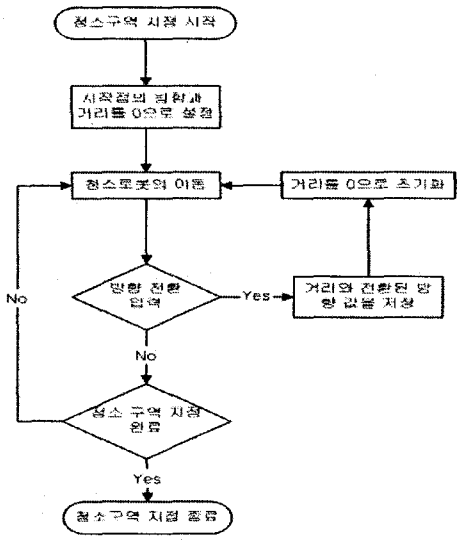


<그림 4 임의의 공간에서 청소 공간을 지정하는 예>

본 논문에서 제안한 방식은 청소 로봇이 지도 작성을 위한 고가의 장치들을 대신하여 사람이 지도 작성을 위한 청소 공간의 정보를 알려주기 때문에, 청소로봇은 위치 추정을 위한 센서만을 가지고 있어도 매핑방식의 청소로봇과 유사한 청소 성능을 발휘할 수 있기에 보다 저렴한 청소로봇을 개발할 수 있다. 그리고 지도를 작성하여 청소를 할 수 있기 때문에, 랜덤 방식에서 발생하는 공간의 중복성과 비연속성에 대한 문제점을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 사람이 원하는 청소 공간을 청소 로봇에게 지정할 수 있기에, 인위적인 랜드마크 없이도 부분 공간 청소가 가능하다.

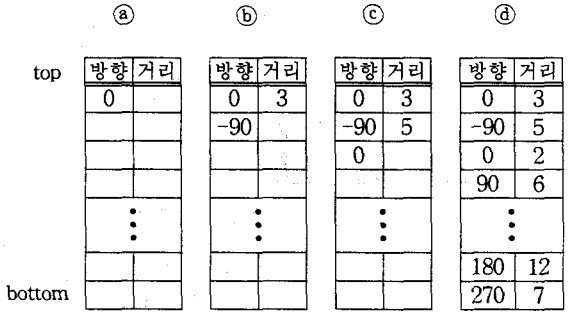
3.2 벡터 정보를 이용한 지도 작성

본 절에서는 3.1절에서 제안한 방식을 이용하여 효과적으로 지도 작성을 하기위해 방향과 거리, 즉 벡터 정보를 사용하여 스택에 저장하고, 이를 비트맵형식으로 지도를 작성하는 방법을 제안한다. <그림 4>는 본 절에서 제안하는 알고리즘에 대한 흐름도를 보여준다.



<그림 5 벡터를 이용한 지도 작성 흐름도>

아래의 <그림 6>는 <그림 5>의 알고리즘 순서에 따라서 방향과 거리의 데이터가 스택에 저장되는 것을 보여준다.



<그림 6 방향과 거리에 대한 데이터 저장>

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 (1)부터 (5)까지의 순서로 진행되며, 청소 로봇이 이동 중에 미끄러짐 현상이 없다고 가정하였다.

(1) <그림 4>의 시작점 ⓐ에서 청소 공간을 지정할 때, 시작점의 방향과 거리값을 0으로 설정한다. 그리고 초기화된 방향값을 <그림 6>의 ⓐ과 같이 스택에 저장한다.

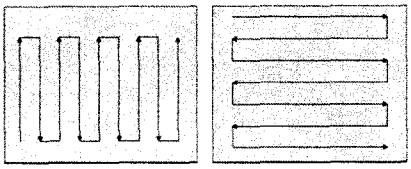
(2) 청소 로봇이 <그림 4>의 시작점인 ⓐ에서 ⓑ까지 이동하여 진행 방향이 바뀌면, 시작점에서 출발하여 ⓑ까지의 이동거리를 측정한 데이터와 청소로봇의 변경된 방향에 대한 각도의 데이터를 <그림 6>의 ⓑ처럼 스택에 방향과 거리값을 저장한다.

(3) <그림 4>의 ⓑ에서 ⓒ으로 이동하면, 거리값을 0으로 초기화하고 (3)과 동일한 방식으로 방향과 거리값을 <그림 6>의 ⓒ처럼 스택에 저장한다.

(4) <그림 5>에서 보여주는 알고리즘의 순서를 청소 공간 지정이 완료가 될 때까지 반복하여, <그림 6>의 ⓓ과 같이 청소 공간에 대한 거리와 방향값을 스택에 저장한다.

(5) 청소 공간 지정이 완료되면, 스택에 저장 되어 있는 거리와 방향값을 이용하여 청소 로봇이 비트맵형태로 지도를 작성한다.

벡터 정보를 이용하여 지도 작성하는 방법은 사람이 지도 작성을 도와줌으로써, 고성능의 장치와 센서를 사용하지 않아도 매핑방식의 청소 로봇과 유사하게 지도가 작성된다. 따라서 본 논문에서 제안한 지도 작성 알고리즘 어떠한 청소 알고리즘이라도 적용시킬 수 있다. 예를 들어, <그림 7>과 같은 'ㄹ'형태의 밭갈이 방법[4]을 적용 시킬 수 있을 뿐만 아니라, 다른 어떠한 청소 알고리즘도 적용할 수 있기 때문에 주변 환경에 가장 알맞은 청소 알고리즘을 적용 시킬 수 있다.



<그림 7 밭갈이 방법(Plowing method)>

4. 성능평가 환경 및 방법

본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용한 청소 로봇과 기존 연구된 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 선정한 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.

성능평가 기준으로는 정해진 시간(배터리 용량)동안 청소 공간 구조에 따른 청소 면적을 비교할 것이다. 그리고 랜덤방식으로도 매핑방식과 유사한 성능을 보이는 정사각형 형태의 맵(map)에서부터 각의 개수를 늘려 성능평가를 할 것이다. 또한 맵에 고정 장애물이나 이동 장애물을 추가하여 시뮬레이션을 함으로써, 장애물에 회피 분석을 위한 자료를 수집하도록 할 것이다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 사람이 직접 청소 로봇을 이동시키면서 지정한 공간을 방향과 거리값으로 지도 작성을 하는 방식을 제안함으로써, 랜덤방식을 사용하는 청소로봇의 하

드웨어 성능으로 매핑방식의 청소 효율성을 가질 수 있다는 것을 보였다. 하지만 제안하는 알고리즘은 지도 작성 후 로봇의 주행시 발생 가능한 일시적인 장애물에 대한 대처 방안을 다루지 않았다. 이 문제는 로봇의 장애물 회피와 새로운 경로계획 설정이라는 측면에서 중요한 사항이므로 향후 이 문제에 대해 해결책을 제시 하겠다.

6. 참고 문헌

[1] Joseph L. Jones, "Robots at the Tipping Point: The Road to the iRobot Roomba", IEEE Robotics & Automation Magazine, Volume:13, pp.76-78, 2006

[2] Jodi Forlizzi, Carl DiSalvo, "Service Robots in the Domestic Environment:A Study of the Roomba Vacuum in the Home", Proceeding of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction HRI "06, pp.258-265, 2006

[3] 박주용, 이기동, "미지 환경에서의 자율주행 로봇의 청소 알고리즘", 대한전자공학회논문지, Volume:48, pp.61-67, 1999

[4] 윤상훈, 박세훈, 최병준, 이연정, "Path Planning for Cleaning Robots: A Graph Model Approach", Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems, 2001

[5] 권오상, "가정용 청소로봇의 제어 동향", 대한전자공학회 전자공학회지, Volume:31, pp.29-37, 2004

[6] 김건희, 정우진, 김문상, "Development of Range Sensor Based Integrated Navigation System for Indoor Service Robots", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering Volume:1, No:1, 1999

[7] Yong-Joo Oh, Yoshio Watanabe, "Development of small Robot for Home Floor Cleaning", Proceedings of the 41st SICE Annual Conference, Volume:5, pp.3222-3223

[8] 배성혁, 최동엽, "Path Planning for the obstacle avoidance of the autonomous mobile robot", 대한전자공학회 학술회의 논문집, Volume:1, pp.766-771, 1994

[9] F.Lu, E.Milios, "Globally consistent range scan alignment for environment mapping", Autonomous Robots, Volume:43, pp.333-349, 1997

[10] D.Fox, W.Burgard, S.Thrun, "Active markov localization for mobile robots", Robotics and Autonomous Systems, Volume:25, pp.195-207, 1998

[11] S.Thrun, D.Fox, W.Burgard, F.Dellart, "Robust monte carlo localization for mobile robots", Proc. of National Conf. on Artificial Intelligence, Volume:128, 2001

[12] F.Dellart, D.Fox, W.Burgard, S.Thrun, "Monte carlo localization for mobile robots", Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.1322-1328, 1999

[13] Ching-Chih Tsai, "A localization system of a mobile robot by fusing dead-reckoning and ultrasonic measurements", Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, Volume:47, pp.1399-1404, 1998

[14] Sewan Kim, "Autonomous Cleaning Robot: Roboking System Integration and Overview", Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation New Orleans, Volume:5, pp.4437-4441, 2004