

가정용 청소로봇의 제어 동향

권오상 ((주)한울로보틱스 지능로봇연구소)

1. 서론

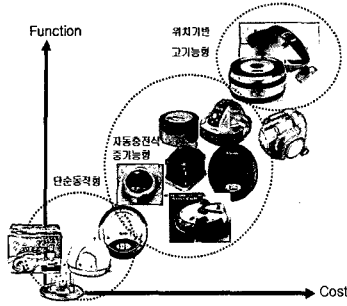
20세기 들어서 컴퓨터의 보급과 인터넷의 확산은 가정생활을 혁명적으로 변화시켰고, 더욱이 최근 IT·BT·NT 등의 신기술에 대한 범국가적인 투자는 전자·기계 등의 기존 전통기술과 접목되어 지능로봇이라는 새로운 상품을 등장시켰다. 현재 지능로봇 시장은 1가구 1로봇 시대라는 무한한 잠재적 시장을 겨냥해 선진각국은 컴퓨터, 가전 등 다양한 분야에서 센서, IC, 가전 등 다양한 IT기술의 핵심역량을 기반으로 시장에 진입하고 있으나 아직까지는 소규모 초기 시장진입 단계이며 가정·공공시설 등 매우 큰 시장을 대상으로 하고 있기 때문에 대학·연구소 뿐만 아니라 많은 기업체에서 기반기술 개발 및 상품화 개발에 전력을 투구하고 있는 상황이다.

특히 지능형 로봇의 가장 큰 시장은 우리가 생활하는 공간 내에서 힘들고 어려운 일을 대신하거나 도와줄 수 있는 가정용 서비스 로봇으로 크게 Human Service Robot과 Home Service Robot로 나눌 수 있다. Human Service Robot은 사람에게 정보를 전달해주고, 감성적인 대화가 가능한 로봇으로 개인용 로봇, 교육용 로봇, 오락용

로봇, 감성로봇 등이 개발되고 있고, Home Service Robot은 가정에서 사람을 대신하여 작업해 주는 로봇으로 청소로봇, 경비로봇, 가정관리로봇, 애완동물 관리 로봇 등이 개발되고 있다. 또한 이러한 두 가지 기능을 전부 만족할 수 있는 인간형 로봇(Humanoid)도 많이 개발되어 최근 시연도 보이고 있으나 아직은 상품화 단계이기 보다는 보행·인지 등의 기반기술 개발 단계에 있다.

지능형 로봇 중에서 가장 먼저 개발 및 상용화되고 있는 것은 가정용 청소 로봇이라고 할 수 있다. 대부분의 가정이 청소에 많은 시간을 할애하고 있으며 특히 전업 주부의 경우는 가사 노동의 어려움 때문에 로봇에 대한 기대가 매우 큰 상황이다. 따라서 청소로봇의 시장은 수요에 공급을 충족시켜 나가는 시장 확대가 크게 기대되는 로봇 분야이고 국가적으로 볼 때도 노동력을 절감하고 복지사회로 가는 길에 일조할 것으로 예측되고 있다. 최근 실생활에 적용되는 청소로봇은 단순기능을 갖는 장난감 형태의 로봇에서 수백만원대의 지능형 청소로봇까지 개발 및 판매되고 있다.

그림에서 보면 모든 지능로봇과 마찬가지로



〈그림 1〉 청소로봇의 기능 비교

로봇의 지능 정도에 따라 단순 동작형, 중기능형, 고기능형으로 나누어진다. 여기서 단순 동작형은 충돌 감지센서에 의존하여 벽이나 장애물에 충돌할 경우 이동경로를 변경하면서 청소를 수행하는 로봇으로 어느 방향으로 이동할지 예측이 불가능하기 때문에 방안에서 장시간(3-4시간) 동안 동작시키면 80-90%의 청소가 가능하다. 따라서 좁은 지역에서는 비교적 청소가 원활한 반면 넓은 지역에서는 효율이 떨어진다. 다음으로 중기능형은 청소시의 이동방법은 단순 동작형과 동일하나 자동충전이 가능하고, 청소효율을 높이기 위한 이동경로 제어가 포함되어 있으며, 방범 등의 기능이 추가되어 있다. 마지막으로 고기능형은 앞의 2가지 방식과는 근본적으로 다른 방식으로 가정내부의 지도(Map)를 가지고 자기위치를 인식하면서 사람과 같이 한 쪽에서 다른 쪽으로 차례차례 청소를 수행하는 방식이다. 이 방식은 다수의 센서와 특히 카메라가 부착되어 환경인식을 수행하나 아직 가격이 고가인 단점이 있다.

본 고에서는 가정내에서 활동하는 청소로봇을 중심으로 제어방법과 제품에 적용된 청소알고리즘에 대해 기술하기로 한다.

II. 가정내 청소로봇의 이동 제어 방법

1. 경로계획

청소 로봇의 기본적인 기능은 집안을 구석구석 청소 하는 것이다. 청소 로봇이 집안을 자율적으로 이동하면서 구석구석 청소하기 위하여 청소 로봇의 자율 주행 로봇 알고리즘은 이동 로봇의 한 응용 분야로서, 자율 주행 로봇의 특징들을 공유한다. 청소 로봇과 같은 이동로봇이 이동하는 경우 경로 계획에 의해 모션 제어 명령을 생성하여 로봇을 이동하게 된다. 경로가 계획된 후에 로봇의 기구학 및 동역학 모델들을 이용하여 로봇의 동작을 제어한다. 이 때, 접촉센서, 적외선 센서, 레이저 센서, 초음파 센서 등의 거리센서를 사용하여 장애물 회피 및 충돌회피를 하게 된다. 따라서, 청소 로봇이 청소업무를 수행하는 경우 로봇의 이동 경로를 결정하는 것이 필수적이며 이는 청소로봇에만 국한되는 것이 아니다.

일반적으로 로봇의 경로 탐색 기법은 자율 이동 로봇의 네비게이션 구현에서 가장 중요한 분야로 다음과 같이 두 부분으로 나뉘어 질 수 있다. 하나는 전역 경로 계획(Global path planning)으로 전반적인 환경에 대한 정보를 가지고 있는 것이고, 다른 하나는 국소 경로 계획(Local path planning)으로 센서값에 의존하여 바로 앞에 있는 장애물의 크기나 위치 등을 구별하여 불확실한 주변환경에서 보다 안전하게 경로를 탐색하게 해주는 것이다.

전역 경로 계획으로는 특징적인 공간 탐색 기법⁶⁾과, 포텐셜 필드 기법, 일반화한 보로노이 다이어그램, 그리고 그래프 탐색기법 등이 있다.

국소 경로 계획은 초음파 센서나 영상, 레이저 센서들로부터 입력되는 값을 이용하는 방법으

〈표1〉 서비스 모델과 트래픽 묘사자

지도 형태 구분	경로	자유 공간	물체 지향	복합 공간
데이터 구조	-없음 -경로 목표 -기록된 동작 -경로 그래프	-그래프 (Voronoi 선도, 자유 경로, 연결적) -트리 (장소)	-정점 그래프 -트리 (경계 표지)	-격자 -사분 트리 -규칙
계획	-교시 -트리 탐색 -그래프 탐색	-교시 -학습 -그래프 이론 -트리 탐색 -Delaunay 삼각 분할	-교시 -학습 -그래프 탐색 -트리 탐색 -트리 탐색	-교시 -학습 -그래프 탐색 -거리 변환
주행	-유도선 -추측 항법 -지표 -기록된 동작의 재현	-추측 항법 -지표 -센서 피드백	-추측 항법 -지표 -센서 피드백	-추측 항법 -지표 -센서 피드백

로 Brooks¹⁰⁾, Borenstein, Koren 등은 실험 환경 내에서 로봇과 장애물과 목표사이의 인력, 척력이라는 힘의 개념을 도입하여 초음파 센서를 장착한 로봇이 장애물을 피해가는 연구를 하였다.

청소 로봇이 집안을 구석구석 청소하기 위해서는 전역적 경로계획과 지역적 경로 계획이 서로 상호 보완적인 관계에 있어서 장애물과의 충돌을 피하면서 능동적으로 경로를 재설정하여야 한다. 또한 로봇이 청소를 끝낸 후에 청소하지 못한 공간이 남아 있을 경우나 방을 옮겨서 청소할 때 이동하기위한 경로계획 및 위치인식이 필요하다. 일반적인 이동로봇의 경로계획과 청소로봇의 중요한 차이점은 모든 영역을 지나도록 경로계획이 되어야 하고 중복 부분이 적어야 한다는 것이다.

2. 지도 작성(Map Building)과 자기위치 추정

로봇의 경로 및 위치를 나타내는데 있어서 지도가 필요한데 지도를 이용하는 방법은 크게 두 가지 이다. 처음부터 지도정보를 입력하여 놓고 로봇을 주행하면서 Update 하는 방법과 지도정보 전혀 없는 상태에서 주행을 통해 지도를 작성하는 방법이다. 지도 구축에 관한 연구로 크게 점유 기반(Occupancy based) 지도 구축¹¹⁾과 표식 인지 및 추적(Beacon recognition & tracking)¹²⁾ 방법이 있으며 여기에서는 환경 지도(environment map)를 4개의 그룹으로 구분한다. 즉, 경로 지도(path map), 자유 공간 지도(free-space map), 물체 지향 지도(object-oriented map), 복합 공간 지도(composite-space map) 등으로 나눌 수 있다.

각 그룹에 따라 사용되는 데이터 구조와 경로 계획 알고리즘이 결정되며 경로 계획 알고리즘은 데이터 구조에 의존한다.

이동 로봇에서의 위치 추정은 특징점들의 위치와 측정값들을 이용해서 로봇의 위치를 구하는 문제이다. 반면 이동 로봇을 이용한 지도 제작의 문제는 로봇의 위치와 측정값들을 이용해서 특징점의 위치를 구하는 문제이다. 따라서 이 두 가지를 동시에 수행하는 것은 간단하지 않다. 즉, 이동 로봇의 위치 추정을 위해서는 정확한 특징점의 위치 정보가 필요하고 또한 정확한 특징점의 위치 정보를 로봇 스스로 얻기 위해서는 정확한 로봇의 위치 정보가 필요하기 때문이다. 이러한 문제를 풀기 위한 분야가 SLAM(Simultaneous Localization And Map building)이다.

SLAM을 구현하기 위해서 초음파, 레이저, 시각 센서를 주로 이용한다. 초음파는 가격이 저렴하고 속도도 빠른 반면 정확도가 떨어진다. 레이저의 경우 능동적이고 정확하나 속도면에서 느리다. 시각 시스템은 수동적이고 많은 분석이 요구된다. 초기의 성공적인 많은 접근 방식들은 바코드 반사기, 초음파 표식, 시각 패턴 등과 같은 인공적인 랜드마크를 사용하였다⁵⁾. 이 방식들은 표식(beacon)이 없는 환경에서는 적용이 불가능하다. 그러므로 가공되지 않은 환경에서 안정적이고 자연적인 랜드마크를 이용한 시각 기반의 방법이 요구된다. 자연적인 랜드마크를 이용하여 작성된 지도는 이동 로봇의 주행과 같은 고도의 기술이 필요한 분야에 잘 적용될 수 있다.

이동 로봇의 위치 추정은 특징점들의 위치와 측정값들을 이용해서 로봇의 위치를 구하는 문제이다. 반면 이동 로봇을 이용한 맵 빌딩의 문제는 로봇의 위치와 측정값들을 이용해서 특징점의 위치를 구하는 문제이다. 따라서 이 두 가

지를 수행하기 위해서는 입력된 영상으로부터 특징점을 잘 추출하여야 한다. 최근 특징점을 찾는 여러 방법들 중 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)는 스케일 변환, 회전, 조명의 변화에도 가장 성능이 좋은 것으로 알려져 있다.

스케일 불변 특징 변환(SIFT)은 4개의 주요 단계로 이루어져 있다.

- (1) 스케일-스페이스 피크 선택 : DOG (Difference of Gaussian)를 이용하여 모든 스케일과 영상 위치에 대해 수행하고 스케일과 방향에 대해 불변할 가능성이 있는 관심 점들을 구한다.
- (2) 키포인트 위치 추정(Keypoint Localization) : (1)에서 구한 점들을 위치와 스케일, 명암에 대해 안정도를 판단하여 키포인트를 구한다.
- (3) 방위 지정(Orientation assignment) : 각 키포인트 위치에 국부 영상 특성에 준하여 방위를 구한다.
- (4) 키포인트 서술자(descriptor) : 각 키포인트 주위의 국부 영역에서 국부 영상 변화를 구한다.

입력되는 영상들로부터 특징점들을 추출하여 데이터베이스에 저장하여 맵 빌딩을 수행하고, 새로 입력되는 영상에 대해 특징점들을 저장된 특징점들과 비교를 통하여 위치를 추정하게 된다.

맵 빌딩을 하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 임의의 위치에서 최초 입력되는 영상에 대해 특징점들을 구한다.

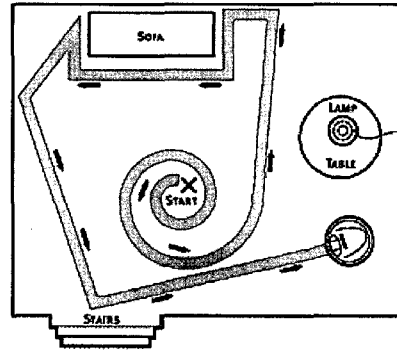
- (2) 맵 DB에 특징점들을 저장한다.
- (3) 다음 입력된 영상에 대해 특징점을 구한다.
- (4) 맵 DB에 들어 있는 기존의 특징점들과 매칭 정도를 판단하여 좌표 변환을 수행한다.
- (5) 좌표 변환된 특징점들을 맵 DB에 추가한다.
- (6) 맵 빌딩이 끝날 때까지 (3)~(5)를 반복 수행한다.

III. 청소 알고리즘

현재 알려진 청소로봇은 그림 1.에서와 같이 3가지 형태로 분류할 수 있다. 이는 단순동작형, 중기능형, 고기능형 이며 각각에 대한 청소 방식이나 특징은 다음과 같다.

1. 단순동작형

단순 동작형은 아이디어 상품 내지는 저가 공략형 이라고 볼 수 있다. 이는 극소수의 센서와 심지어는 먼지 흡입을 위한 청소모터조차도 없는 그런 구조를 가지고 있다. 아이모요나 청소벨레 같은 제품들은 주로 부직포를 생산하는 업체에서 개발된 것들이 많으며 이는 단순한 충돌감지용 스위치나 충돌시 방향이 변하게 고안된 구르는 공 형태를 갖고 모션을 조정한다. 청소는 단순히 부직포만을 이용하며 이에 의해 잔면지나 머리카락 등을 정전기에 의해 부착되게 하는 방식으로 청소를 한다. 미국의 아이로봇사의 룸바는 이러한 부직포 타입의 청소로봇보다는 조금 더 지능적이고 중기능형보다는 기능과 성능을 낮춘 것이라고 볼 수 있다. 충돌을 감지하기 위한 범퍼스위치, 적외선을 감지하여 가상벽을 검출하거나 벽면을 검출하는 센서, 회전브러시와 저출력의 흡입모터를 갖추고 있다. 룸바의 차

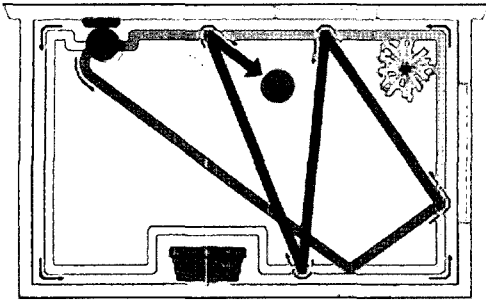


〈그림 2〉 룸바의 청소방식

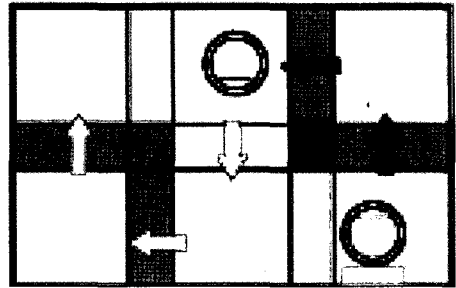
별적인 요소는 적외선을 이용한 가상벽을 이용하여 정해진 영역만을 청소할 수 있도록 하는 방식과 회전브러시를 이용하여 먼지를 쓸어담는 구조를 택하고 잔면지에 대해서는 저출력의 흡입모터를 채용함으로써 배터리의 용량 및 가격적인 측면의 부담을 경감하는 구조로 되어 있다. 유일하게 단순동작형 로봇에서는 다양한 청소알고리즘을 가지고 있으며 이에 나선형 청소, 랜덤청소, 벽면추종 등의 알고리즘을 혼합하여 사용하고 있다.

2. 중기능형

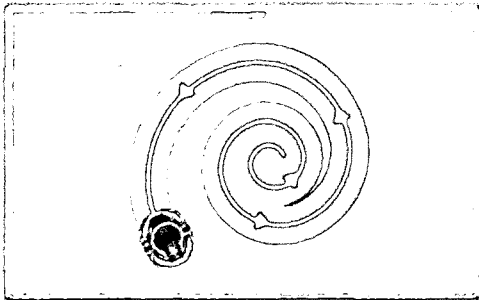
중기능형은 기본적으로 청소흡입력이 기존의 핸드헬드 청소기 수준인 60W급(흡입모터 전기적 사양)을 최소한 유지하는 것에서 시작되며 대부분 청소기를 만드는 가전회사에서 주도적으로 개발이 진행되는 것이 단순동작형과는 큰 차이점이다. 청소측면을 제외하면 단순동작형에 비해 초음파, 적외선, 충돌감지용 범퍼 등의 다양한 센서를 장착하고 있으며 자동충전 기능을 갖고 있는 것이 자동청소 측면에서 특징이라고 할 수 있다. 이는 단순동작형에 비해 10배이상의



〈그림 3〉 트릴로바이트의 랜덤 청소방식



〈그림 5〉 로보다임의 영역분할 청소 방식(스마트네비 게이션 알고리즘)



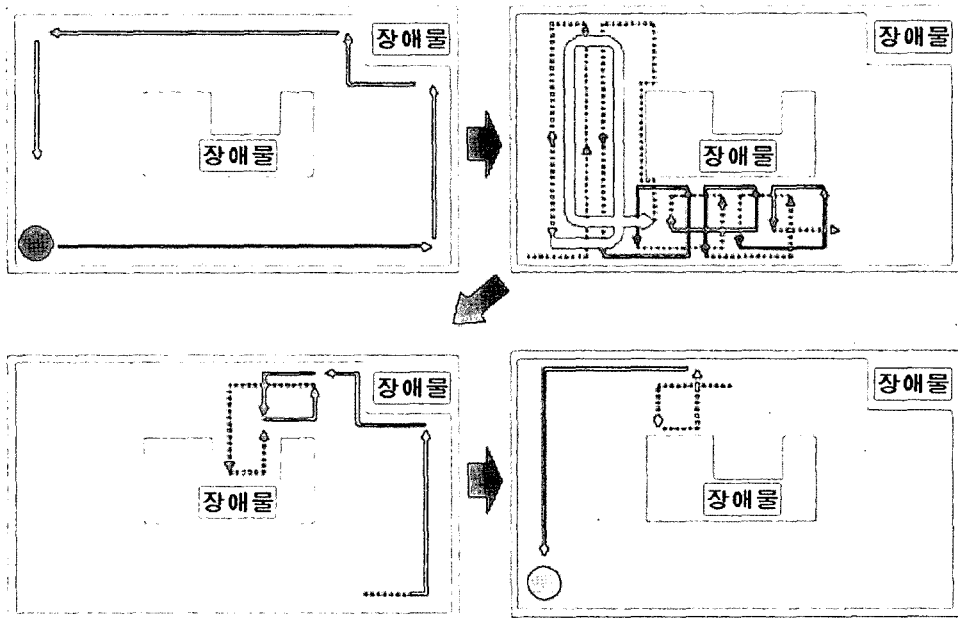
〈그림 4〉 스팩청소방식

가격을 지불해야 하지만 장착된 센서를 통해 장애물을 감지하고 장애물에 대한 거리를 판별하며 대부분 충돌없이 이를 피해 청소를 할 수 있다. 청소 알고리즘은 주로 랜덤 방식을 사용하며 사각형태의 작은 공간의 인접으로 공간을 해석하여 움직이는 방식도 있다. 랜덤 방식은 우선적으로 공간의 사이즈를 측정하기 위해 벽면을 추종하면서 벽면 외곽을 1회전한 후에 일정 각도를 가지고 장애물을 만날 때 까지 진행하다가 장애물을 만나면 다시 일정각도로 회전 후 다시 진행하는 형태로 청소 모션을 취한다. 이러한 랜덤 방식은 단순동작형 보다는 지능적이긴 하지만 중복청소영역, 청소되지 않는 영역의 발생을 가져오며 이에 의해 자체 에너지 대비하여 효율적인 청소가 되지 않으며 빈틈없이 전지역을 청

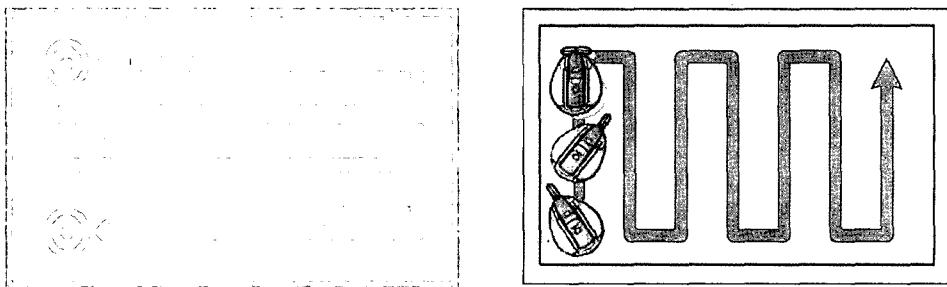
소하려면 좁은 지역이 아니고는 불가능하다고 볼 수 있다. 한정된 배터리를 가지고 청소를 하는 청소로봇은 보통 40분에서 1시간 정도의 청소시간을 보장 받는데 랜덤 방식은 이러한 에너지 한계성으로 인해 완벽한 청소를 보장하지는 못한다. 그러나 중기능형은 단순동작형에 비해 효율적으로 청소를 수행하며 흡입모터를 채용하고 있어 먼지를 브러시와 흡입모터를 이용하여 흡입함으로써 진정한 청소로봇이라고 할 수 있다. 또한 장착된 센서에 의해 장애물에 쿵쿵 부딪치지 않고서도 청소를 할 수 있으며 배터리 방전시 자석감지용 홀센서와 적외선, 초음파 센서 등을 이용하여 자동으로 충전기를 찾아 도킹하는 알고리즘과 센서를 장착하고 있다. 중기능형으로는 일렉트로룩스의 트릴로바이트, 엘지전자의 로보킹, 카처의 로보크리너, 우리기술의 로보다임 등이 이에 속한다.

3. 고기능형

고기능형은 중기능형과의 가장 큰 차이점은 청소효율에 두고 있다. 기능적으로는 약간의 차이가 있지만 청소를 위한 성능과 기능면에서는



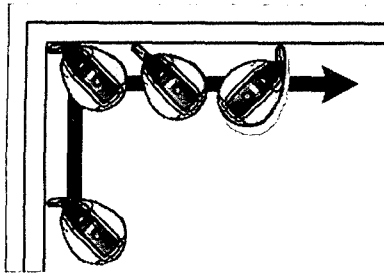
〈그림 6〉 히다찌사 청소로봇의 스파이럴 청소방식



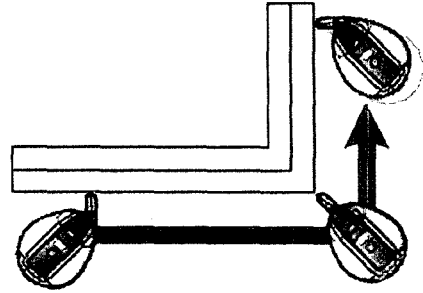
〈그림 7〉 쿠루보와 오토로의 위치기반 청소방식

큰 차이를 갖고 있다. 삼성의 크루보와 한울로보
 텍스의 오토로가 이에 속한다. 청소를 위한 성능
 과 효율적인 측면으로는 우선적으로 청소알고
 리즘이 랜덤방식에서 벗어나 로봇 자신이 자기
 가 청소한 영역을 알아야 하고 중복청소를 적게
 해야 효율적인청소가 가능하다. 로봇 제조 회사
 에서는 이러한 방식을 매핑방식, 바둑판식, 오토
 맵 방식이라고 칭하고 있으며 이는 다음 그림과

같이 좌우 또는 상하로 왕복하면서 청소하는 방
 식이다. 이러한 방식으로 청소하기 위해서는 로
 봇이 주행하는 도중에 자신의 위치와 자세를 정
 확하게 보정하는 것이 관건이라고 할 수 있다.
 이러한 기능을 수행하기 위해 고기능에서는 중
 기능형이 채택하고 있는 센서 이외에 비전센서
 가 추가로 장착되어 있다. 삼성의 크루보는 홀로
 그램 영상을 보여주는 인공 랜드마크를 사용하



〈 구석 청소 〉



〈 모서리 청소 〉

〈그림 8〉 오토로의 구석 또는 모서리 청소방식

고 있으며 한울로보틱스의 오토로는 정확도가 우수한 싱크로드라이브 메카니즘과 자연적인 랜드마크를 이용하여 효율적인 청소를 수행하고 있다.

고기능형의 또 다른 특징은 청소흡입력이 100W~200W급 이상을 채용하고 있으며 특히 오토로의 경우는 구석과 모서리 청소를 위해 청소브러시를 외부로 돌출시켜 먼지가 많은 지역을 청소할 수 있도록 되어 있다.

IV. 결론

지금까지 가정내에서 서비스할 수 있는 지능로봇 중에서 청소로봇을 중심으로 제어알고리즘에 대해 알아보았다. 청소로봇은 이동로봇 중에서 가장 높은 정밀도의 위치인식이 필요하고 이를 바탕으로 모든 영역의 청소 및 중복청소 방식에 의한 청소 효율화 등의 높은 기술을 필요로 한다. 이를 위해 현재는 가격대 성능비에 의한 큰 차이로 주로 랜덤방식을 사용하고 있으며 위치인식에 의한 방식이 도입되고 있다. 이십여년 전의 자동청소로봇의 초창기 연구 때 보다는 상품화가 진행되고 판매가 되고 있다는 점에서 로

봇시장의 첫걸음을 디뎠다는데 의미가 있다고 할 수 있다. 향후 부품소재기술과 알고리즘 기술의 발달에 의해 보다 가격대 성능비가 우수한 로봇의 개발로 로봇산업이 발전할 수 있을 것이라고 생각한다.

참고문헌

- [1] A. Elfes, "Sonar-based real-world mapping and navigation," IEEE Trans. Robot. & Auto., vol. RA3, pp. 249-265, 1987.
- [2] B. Barshan and R. Kuc, "Differentiating sonar reactions from corners and planes by employing an intelligent sensor," IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intell., vol. 12, pp. 560-569, 1990.
- [3] T. Lozano-perez and M.A. Wesley, "An algorithm for planning collision-free paths among the polyhedral obstacles," Comm. of the ACM, vol. 22, no. 10, 560-570, Oct. 1979.
- [4] R.A. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," IEEE Trans. Robot. & Auto., vol. RA-2, no. 1, pp. 14-23, 1986.
- [5] J. Borenstein, L. Feng, "Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots", IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 12-5, 1996.

- [6] J. Borenstein, B. Everett, L. Feng, Navigating Mobile Robots : System and Techniques, A.K. Peters, Ltd, Wellesley, MA, 1996.

저자소개



권 오 상

1990년 인하대학교 전자공학과(BS)
 1992년 인하대학교 전자공학과(MS)
 1992년-1996년 대우중공업 중앙연구소 주임연구원
 1999년 인하대학교 전자공학과(Ph. D)
 1999년-2000년 건양대학교 강의교수
 2000년-현 재 한울로보틱스 지능로봇연구소 소장
 주관심분야 가정용로봇, 재활보조로봇