

主題

이동로봇의 위치 인식 기술

포항공과대학교 기계공학과 교수 정완균

차례

1. 위치인식 기술설명
2. 본론
3. 결론

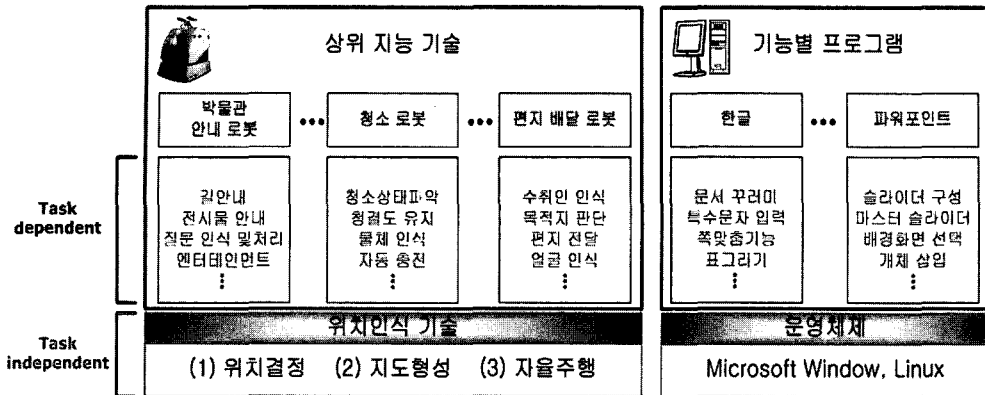
1. 위치인식 기술설명

이동로봇은 21세기에 가장 성장할 것으로 예상되는 분야 중 하나이지만, 아직 산업계에서는 큰 비중을 차지하지 못하고 있다. 이러한 현실의 가장 큰 원인은 이동로봇이 수많은 불확실성을 다룰 수 있는 지능을 확보하지 못하고 있기 때문이다. 그러므로 본격적인 로봇의 시대가 열리기 위해서는 '지능로봇 기술'의 개발이 선행되어야 한다.

지능로봇 기술은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 모든 이동로봇의 기초가 되는 '위치인식 기술'이며, 두 번째는 특정 작업별로 개발되어야 하는 '상위 지능 기술'이다. 이 중, 위치인식 기술은 모든 이동로봇에 동일하게 적용되는 작업 비의존적 (task-independent) 기술이며,

상위 지능 기술은 로봇의 목적에 따라 달리 개발되어야 하는 작업 의존적 (task-dependent) 기술이다(그림 1). 따라서 위치인식 기술은 컴퓨터의 운영체제 (Window, Linux 등)로 비유할 수 있고, 상위 지능 기술은 특정 작업을 위한 기능별 프로그램 (한글, 파워포인트 등)으로 비유할 수 있다(그림 1). 그러므로 본격적인 이동로봇의 시대가 열리기 위해서는 이동로봇의 운영체제라고 할 수 있는 위치인식 기술의 개발이 선행되어야만 한다.

그러나 1990년 이후의 많은 연구에도 불구하고, 현재의 위치인식 기술 수준은, 사람에게 비유하자면, '어두운 곳에서 두 팔을 뻗어 주변의 거리를 인식하고, 걸음수를 세어가며 이동한 거리를 예측해야 하는 정도' 밖에 되지 않는다. 이런 조건 하에서는 지적 능력이 우수한 사람이라 할



(그림 1) 위치인식 기술과 상위 지능 기술

지라도 주어진 지도에서 자신의 위치를 알아내고, 지도에 없는 부분들을 새로이 작성해 나가는 동시에, 평상시의 이동 속도를 유지하며 안전하게 이동하는 것은 무척 어려운 일이다.

현재의 위치인식 기술 수준은 이동 로봇에 직접 적용될 수 있는 수준이 아니라고 판단된다. 극단적인 예로 2004년 3월 미국의 DARPA (첨단방위 프로젝트 연구소)에서 주최한 그랜드 챌린지 대회를 들 수 있다. 일반적으로 실외 환경이 실내 환경에 비해 불확실성이 크기 때문에 직접 비교하기에는 무리가 있지만 전체 142마일의 완주코스 가운데 대부분의 출전 이동로봇들이 7마일을 넘기지 못하였다는 것은 현재의 위치인식 기술의 수준을 단적으로 보여준다.

2. 본 론

2-1. 필요조건

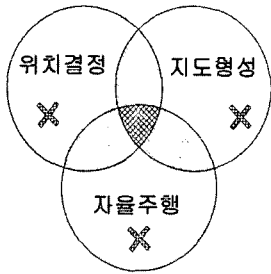
위치인식 기술은 크게 로봇의 현재 위치를 정확히 알아내는 '위치결정 기술', 현재 작업 중인 환경을 파악해 내는 '지도형성 기술', 작업 수행을 위한 이동 경로를 생성한 후 안전하게 이동을 수행할 수 있는 '자율주행 기술'로 분류된다. 이

상의 3가지 세부 기술이 실제 환경에 쓰이는 로봇에 적용되기 위해서는 다음의 3가지 요건들이 만족되어야만 한다.

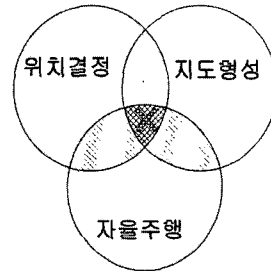
1) 실용화가 가능한 성능 : 각각의 세부 기술들은 인간의 무작위적 이동이나 신속한 환경의 변화에 대해 능동적으로 대처하며, 동시에 주어진 목표를 성공적으로 수행할 수 있는 성능을 갖추고 있어야 한다.

2) 경제성 확보 : 이동로봇의 시대가 실현되기 위해서는 저가의 로봇이 생산되어야 한다. 그러므로 각각의 세부 기술들은 저가의 센서로도 구현이 가능해야 한다.

3) 상호 통합성 확보 : 지능형 이동 기술은 세가지 세부 기술들이 하나의 유기적인 형태로 통합될 때에 구현될 수 있다. 그러므로 각각의 세부 기술이 다른 세부 기술들과 완전히 동떨어진 기술이라면 큰 의미를 갖지 못하게 된다. 일례로 훌륭한 위치결정 알고리즘이 개발되었다고 할지라도, 이 알고리즘을 구현하는 경우에 지도형성이나 자율주행이 불가능하다면 이는 위치인식 기술 개발에 사용될 수 없을 것이다(그림 2(a)). 따라서 각각의 기술은 서로 통합될 수 있는 상호 통합성을 확보하고 있어야 한다(그림 2(b)).



(a) 상호 통합적이지 않은 기술



(b) 상호 통합적인 기술

(그림 2) 세부기술의 상호 통합성에 대한 개념도

이동로봇의 위치결정은 인간에게는 무척 간단하지만, 로봇에게는 가장 어려운 작업 중에 하나이다. 그 이유는 로봇이 실생활 환경에서의 각종 불확실성들을 효과적으로 처리할 수 있는 지능을 확보하지 못하였기 때문이다. 일례로 로봇이 작은 문턱을 넘어갈 경우에도 약 1~2도의 방향오차가 발생하게 되며, 이 상황에서 100m의 직선주행을 한다면 1.7~3.5m의 오차가 발생하게 된다. 또한 바퀴의 미끄러짐, 바퀴 로봇의 기구학적 불균형 등은 이러한 오차를 더욱 증가시키며[1], 뜻하지 않은 사람의 출현이나 물체의 움직임 등은 로봇이 자신의 위치를 완전히 잃어버리게 만들기도 한다. 그리고 지도 작성에서의 사소한 실수가 위치결정에 결정적인 요인으로 작용하기도 한다[10]. 지금까지의 위치결정 기술은 이러한 어려움들을 다 극복하지 못하였기에 일정 수준의 가정(바닥에 문턱이 없음, 지도가 정확함, 사람이 돌아다니지 않음, 주변은 직선의 벽으로만 구성되어 있음 등)하의 실험결과들만을 발표하였다. 따라서 실제 환경에 적용이 가능한 위치결정 기술을 개발하기 위해 집중적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

두 번째로 지도형성이란 과거/현재의 모든 센서 정보로부터 예측된 주변 환경을 기억 장치에 저장하고 필요시 이를 사용할 수 있도록 해 주는 기술이다. 이러한 지도형성 기술 중 가장 힘든

부분은 순환구간이 있는 환경에 대한 지도를 구성하는 것이다. 현재 가장 앞선 연구의 경우[6], 5개의 순환구간들이 있는 환경의 400m의 주행실험에서 성공적인 결과를 보여주었으나, 그 확장 여부에 대해서는 연구 결과가 없었다. 또한, 현재까지는 정적인 지도형성 수준에서 벗어나지 못하고 있지만, 앞으로는 동적인 환경에서도 적용이 가능한 기술이 개발되어야 할 것이다. 이를 위해 환경의 동적 부분들 (문, 엘리베이터, 계단, 난간 등)을 인식하는 기술을 개발하고, 이들의 변화에 적용 할 수 있는 지도형성 기술이 필요하다.

마지막으로 자율주행이란 현재의 위치, 최종위치, 주행 시의 최적화 요소 (안전, 시간, 거리, 에너지 최적 등) 그리고 두 지점 사이의 지도정보가 주어진 경우, 목적지까지의 최적 경로를 생성하여 안전하게 주행하는 기법을 의미한다.

이 기술은 모든 형태의 이동로봇에 적용이 가능해야하며, 동적인 환경에서도 안전성을 보장할 수 있어야 한다. 또한 상위 지능이 요구하는 최적의 경로를 실시간으로 생성할 수 있는 능력을 확보해야하며, 사람의 움직임 등으로 센서의 정보를 신뢰할 수 없을 때에도, 최소한의 센서 정보만으로도 주어진 작업을 성공적으로 수행할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 요건을 모두 만족시키는 자율주행 기술은 아직 개발되지 않고 있다.

2-2. 학계의 동향

서비스로봇의 지능형 이동 기술인 위치결정, 지도형성, 자율주행은 꾸준한 학계의 주목을 받아오다가, 1989년 위치결정과 지도형성을 동시에 고려하는 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)의 연구로 이어지게 되었다. 이 SLAM의 기술을 중심으로 현재까지 수많은 위치인식 기술에 대한 연구 논문들이 발표되었다. 또한 최근에는 SLAM과 자율주행을 동시에 생각해야 한다는 통합적 접근 기법들에 대한 개념이 제시되었다. 하지만 일반적인 환경에 적용이 가능하며 경제성을 확보한 통합적 알고리즘은 제안되지 못했다. 제안된 대부분의 결과들은 특수하게 꾸며진 환경에서만 적용이 가능하거나, 고가의 센서들을 사용한 실험 결과들이었다.

이상의 학계에서의 연구동향은 다음과 같이 기술될 수 있다.

1) 1980년 이후, 학계에서는 위치인식 기술 개발을 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 이는 세계적인 로봇 학술회의인 ICRA (International Conference on Robotics and Automation)에서 이동로봇 분야가 차지하는 비중(그림 3. 자체 분석 결과)에서 확인할 수 있다.

2) 위치인식 기술 개발을 위해 SLAM을 중심으로 한 많은 연구가 이루어져 왔으나, 특정 환경에만 적용이 가능하거나 경제성을 확보하지 못한 경우가 대부분이며, 실제 적용이 가능한 수준의 알고리즘은 아직 개발되지 못하였다.

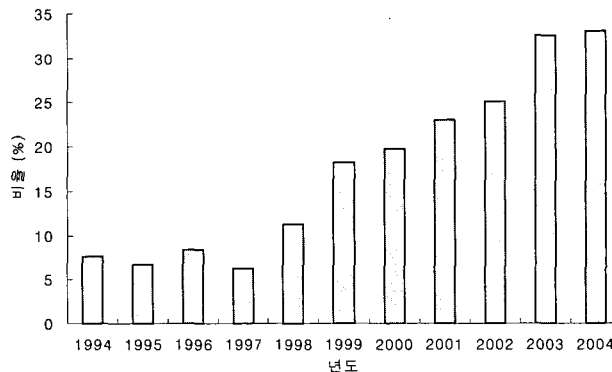
3) 현재는 위치인식 기술 중, 세부 세 가지 분야들을 통합적으로 연구하고자 하는 경향이 대두되고 있으며, 이를 통해 실제 적용이 가능한 기술 개발을 위한 접근이 시도되고 있는 단계이다.

2-2-1. 외국 기술 수준

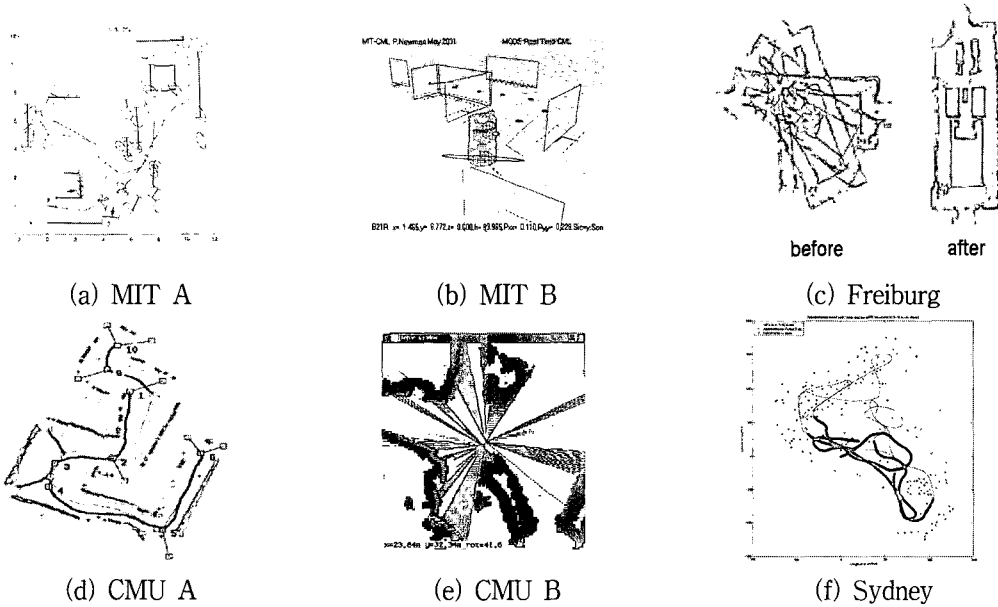
외국에서 개발된 기술들과 그 특징들을 살펴보면 다음과 같다.

미국 MIT에서는 초음파 센서만을 이용한 SLAM 알고리즘을 개발하였다(그림 4(a))[9]. 이 알고리즘의 위치인식 오차는 100m 주행 시 약 40cm정도이다. 저가의 초음파 센서들만으로도 구현이 가능하지만, 부정확성으로 인한 한계로 정적이면서도 직선으로 이루어진 환경에서만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

MIT의 다른 실험실에서는 레이저 센서를 이용하여 사람들이 움직이고 있는 실내 환경에서 위치인식과 지도형성을 동시에 수행하는 알고리즘을 개발하였다(그림 4(b))[8]. 이 알고리즘은



(그림 3) 연도별 이동로봇 관련 논문 비중 (ICRA)



(그림 4) 외국 각 대학의 연구 결과

100m 주행 시에도 위치오차가 2cm 정도이지만, 고가의 레이저 센서를 사용한다는 단점을 가지고 있다.

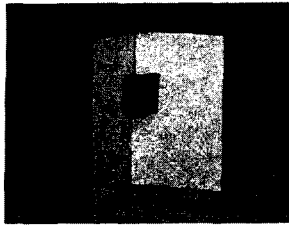
독일의 Freiburg 대학에서는 global map을 이용한 순환구간에 대한 지도형성 알고리즘을 개발하였다(그림 4(c))[6]. 로봇을 이용한 지도형성 과정 중 순환구간이 있는 환경에 대해 지도형성을 하는 것은 가장 어려운 부분 중 하나이다. Freiburg 대학에서는 약 400m를 주행하며 5개의 순환구간에 대한 지도를 성공적으로 형성한 실험 결과를 제시하였다. 하지만 이 방법을 이용하기 위해서는 고가의 레이저 센서를 사용해야 하며, 수 km의 거리에 100개 정도의 많은 순환 구간이 존재하는 경우에 대한 확장성 등은 언급되지 않았다.

미국 CMU(Carnegie Mellon University)에서는 16개의 초음파 센서만을 이용하여 위치인식과 지도형성 그리고 자율주행을 동시에 수행하는 알고리즘을 제안하였다(그림 4(d))[3]. 이 알고리즘

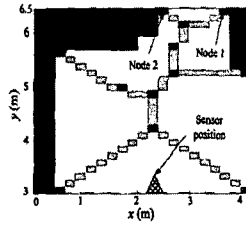
은 직선으로 형성된 복도환경에서 적용이 가능하며, 복도의 형상자체를 landmark로 사용하고 있다. 그러나 이 알고리즘은 정적이고 주변이 직선으로 구성된 환경에서만 적용이 가능하며, 잘못된 한 순간의 센서 입력으로 인해 전체 알고리즘이 실패할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

CMU의 다른 연구실에서는 확률적 계산방법을 이용하는 강인한 위치인식 알고리즘을 개발하였다(그림 4(e))[10]. 이 알고리즘은 사람이 많은 환경 속에서도 강인하게 동작하며, 실제 미국의 Smithsonian 박물관에서 안내용 로봇의 위치인식 알고리즘으로 사용되기도 하였다. 하지만 이 알고리즘을 구현하기 위해서는 정확한 지도를 미리 알고 있어야 한다는 것과, 1개 이상의 레이저 센서를 사용해야 한다는 단점이 있다.

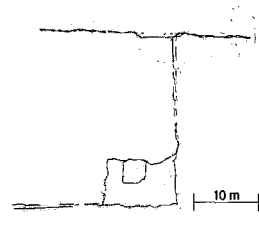
호주의 Sydney 대학에서는 외부 환경에서 나무를 landmark로 이용하는 SLAM 알고리즘을 개발하였다(그림 4(f))[4]. 이 알고리즘에서는 Kalman Filter의 확장된 개념인 Extended



(a) KAIST



(b) 고려대학교



(c) 포항공과대학교

[그림 5] 국내 각 대학의 연구 결과

Kalman Filter를 사용하고 있으며, 센서로는 고가의 레이저를 사용하고 있다. 주행 중 최대 위치 오차는 50cm정도이지만, landmark들이 많지 않은 환경에서는 그 성능이 감소한다는 단점을 가지고 있다.

2-2-2. 국내 기술수준

국내의 기술 수준은 아직 외국의 수준에 비해서는 뒤떨어져 있는 것이 사실이다.

KAIST의 연구팀은 카메라 영상처리기술을 이용하여 인공적인 landmark를 감지함으로써, landmark에 대한 상대적인 위치를 인식하는 위치인식 알고리즘을 성공적으로 개발한 바 있다(그림 5(a))[7]. 하지만 이 방법은 인공적인 landmark를 사용해야 한다는 것과, 로봇과 landmark사이의 거리가 멀어질수록 위치 오차가 증가한다는 것, 그리고 어두운 환경에서는 사용될 수 없다는 단점을 가지고 있다.

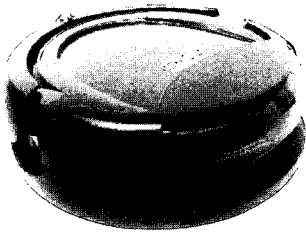
고려대학교 연구팀은 세션화 기법을 이용하여 local map을 형성한 후 이를 global map과 비교함으로써 위치인식을 수행하는 알고리즘을 개발하였다(그림 5(b))[2]. 그러나 이 기법은 grid map에 기초하고 있기 때문에 가장 정확하게 위치인식을 수행한 이후에도 어느정도의 위치 오차를 가지게 되며, 복도와 같이 단순한 환경에서는 위치인식이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

포항공과대학교 연구팀은 위치결정의 핵심 기

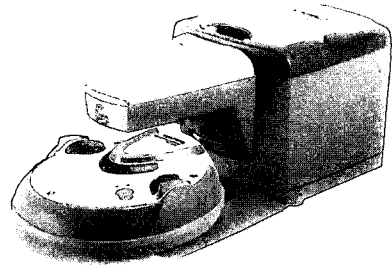
술 중 하나인 'odometry'를 이용한 정밀한 위치인식 기법'에서 세계 수준의 기술을 보유하고 있다(그림 5(c))[5]. 그리고 건물 내부의 복도 환경에서 저가 센서를 이용하여 SLAM을 수행하는 CT-algorithm (Cheap topological algorithm)을 개발하였다. 이동로봇이 얻을 수 있는 가능한 많은 정보인 정확한 odometry, node의 주변 데이터, edge의 데이터, 지나온 node와 edge의 history 등에 기반하여 위치결정을 수행한다.

2-3. 산업계의 동향

최근 국/내외적으로 이동로봇에 기반을 둔 로봇들이 선보여지고 있다. 이중 부분을 청소용 로봇이 차지한다. 국외에서는 미국의 i-Robot 사가 저가의 청소용 로봇(\$199) '룸바'를 선보였으며(그림 6(a)), 스웨덴의 Electrolux 사는 '트렐로바이트'(\$2,800)라는 진공 청소 로봇을 시판하였으며 독일의 카처 사에서도 'RC3000'이라는 로봇을 출시하였다(그림 6(b)). 이중 룸바는 한국 청소로봇 시장의 90%이상을 점유하며 2004년 6월 이후 2000여대의 판매고를 올리고 있다. 국내에서도 KIST, 우리기술 등의 연구소나 회사들을 중심으로 청소로봇 '아이작' 등의 로봇들이 개발되었다. 그러나 지능형 이동 기술의 부족으로 인해 개발된 로봇들의 완성도는 그리 높지 못한 실정이다. '룸바'의 경우는 최소한의 센서(~\$20)만을 사용하기 때문에 단순한 패턴만을 반복하며 작동하고



(a) 미국 I-robot의 룸바



(b) 독일 카처사의 RC3000

[그림 6] 청소용 로봇

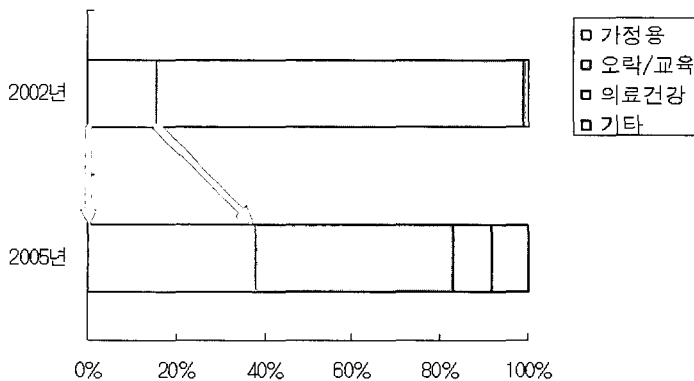
그보다 다소 진보된 ‘트릴로바이트’ 역시 지능적인 주행 모습은 보여주지 못하고 있다. 현재까지 출시된 로봇들은 기초적인 충돌감지센서를 장착해 벽을 따라 움직이거나 바닥을 V자형으로 움직이며 청소하는 1세대 로봇으로 분류된다. 자기 위치를 스스로 인식해 바둑판식으로 움직이며 청소할 수 있는 2세대 로봇들이 개발되어 출시를 기다리고 있지만 위치인식과 관련해서는 뛰어난 성능을 기대할 수는 없을 것으로 판단된다.

이에 반해 연구용 이동로봇으로 각종 센서를 부착한 고가의 제품이 Evolution Robotics 사에서 판매되고 있다. 이 로봇은 USB 카메라와 적외선 센서를 이용하여 SLAM을 수행한다

(v-SLAM). 가격이 저렴하지만 많은 정보를 얻어낼 수 있는 비전 센서와 장애물을 탐지할 수 있는 적외선 센서를 이용한 이 기술은 비교적 뛰어난 성능을 보이고 있으며 앞으로의 위치인식 기술 발전에 하나의 방향이 될 것으로 보인다.

3. 결 론

앞으로의 로봇 시장은 서비스로봇을 중심으로 개편될 것이며, 이는 3D기피현상, 노동임금 증가, 노령화 사회 등에 대한 훌륭한 대안이 될 것이다. 또한 서비스로봇의 규모 역시 앞으로는 폭발



[그림 7] 세계 지능로봇의 부문별 생산비중 (ActiveMedia Research, 2001)

적으로 증가할 것으로 예상된다. IFR의 보고서 따르면 지난 99년 세계 서비스로봇의 시장 규모는 6600대였으나, 2003년에는 89만 2000대에 이를 것으로 전망된다(출처 전자신문 2001/05/30). 또한 일본의 미쓰비시 연구소는 1999년 로봇 산업 예측 자료에서 로봇 시장이 매년 18% 이상의 성장률을 보이며, 2020년에는 그 규모가 1조 4,000억 달러에 이르러 1가구 1로봇 시대를 맞이하게 될 것으로 예측 하였다. 이러한 지능로봇의 산업성장 중에서, 가정용로봇에는 지능형 이동 알고리즘이 가장 핵심적인 기반 기술이 될 것이다. 이러한 가정용 지능로봇의 시장은 2002년 현재 전체 로봇 시장의 15.54%에서 2005년에는 37.68%로 증가할 것으로 예상되고 있다(그림 7. ActiveMedia Research, 2001).

그러나 지능로봇 기술을 포함한 정부지원의 전체적인 로봇 연구 개발은 지난 10여 년간 산업자원부와 과학기술부를 중심으로 하여 이루어져 왔으며, 그간 150억원/년 정도의 연구비가 지원되어 왔다. 정부는 지난해부터 몇몇 대기업들과 손을 잡고 위치결정 및 자율주행에 초점을 맞춘 서비스로봇 기술 개발에 뛰어들었다. 또한 정부는 1998년부터 2003년까지 로봇을 국가중점연구사업의 하나로 선정하고 총 100억 원 규모의 연구비를 투자하고 있으며, 민간 기업은 이 사업에 총 50억 원을 투자하고 있다(전자부품 연구원 보고서, 2002년 3월). 또한 2004년 산업자원부는 10대 차세대 성장동력산업 중의 하나로 지능형 로봇을 선정하여 지원을 시작하였으며, 정보통신부 역시 URC 사업을 통해 지능형 로봇 기술개발에 박차를 가하고 있다.

지능로봇 분야는 이미 미국과 일본에서 주요한 미래기술로 선정하여 국가 차원의 투자를 하고 있다. 지능로봇 분야의 기반기술이라 할 수 있는 위치인식 및 자율주행과 관련된 각종 센서 기술(3차원비전, 레이저센서, 자이로센서, 센서융

합) 및 위치인식, 최종 위치오차 감소와 관련된 연구 분야에 있어서는 선진국과 기술 수준의 차이가 크다고 할 수 있다. 위의 사항과 관련된 국내 연구 수준은 정확도 및 오차 범위에 있어 선진국의 1/4~1/10 정도라고 판단된다.

하지만 국내의 네트워크 인프라 및 프로그램 기술은 상당한 수준에 올라있으며, 서비스로봇과 효과적으로 결합될 수 있는 IT산업이 발전되어 있기 때문에, 효과적인 지능형 이동 알고리즘이 개발된다면 우리나라도 로봇 선진국으로서 자리매김할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] J. Borenstein and L. Feng, "Measurement and corrections of systematic odometry errors in mobile robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.12, no.6, pp.869-880, 1996.
- [2] C. Choi, J. B. Song, W. Chung and M. Kim, "Topological map building based on thinning and its application to localization," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.552-557, 2002.
- [3] H. Choset and K. Nagatani, "Topological SLAM : Toward exact localization without explicit localization," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.17, no.2, pp.125-137, 2001.
- [4] M. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. F. Durrant-Whyte and M. Csorba, "A solution to the simultaneous localization and map building problem," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol.17, no.3, pp.229-241, 2001.

- [5] N. Doh, H. Choset and W. K. Chung, "Accurate relative localization using odometry," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, accepted, 2003.
- [6] J. Gutmann and K. Konolige, "Incremental mapping of large cyclic environments," Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.318-325, 1999.
- [7] G. Jang, S. H. Lee and I. Kweon, "Color landmark based self-localization for indoor mobile robots," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1037-1042, 2002
- [8] P. Newman, J. Leonard, J. D. Tardós and J. Neira, "Explore and return : experimental validation of real-time concurrent mapping and localization," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1802-1809, 2002.
- [9] J. D. Tardós, J. Neira, P. M. Newman and J. J. Leonard, "Robust mapping and localization in indoor environments using sonar data," International Journal of Robotics Research, vol.21, no.4, pp.311-330, 2002.
- [10] S. Thrun, D. Fox, W. Burgard and F. Dellaert, "Robust monte carlo localization for mobile robots," Artificial Intelligence, vol.128, pp.99-141, 2001.



정 완 균

1977년 3월 ~ 1981년 2월 : 서울
대학교 공과대학 기계설계학과
학사

1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 한국
과학기술원 기계공학과 석사

1983년 3월 ~ 1987년 2월 : 한국
과학기술원 생산공학과 박사

1987년 4월 ~ 1993년 3월 : 포항공과대학교 기계공학과
조교수

1988년 3월 ~ 1989년 2월 : Carnegie Mellon
University, Robotics Institute 교환교수

1993년 4월 ~ 2000년 2월 : 포항공과대학교 기계공학과
부교수

1995년 3월 ~ 1996년 2월 : U.C.Berkeley 방문학자

2000년 3월 ~ 현재 : 포항공과대학교 기계공학과 교수