

# URC 구현을 위한 스마트 액션 기술: 지능형 주행 및 조작

Smart Action Technology for Realizing URC:  
Intelligent Navigation and Manipulation

도낙주 (N.L. Doh)	지능형작업제어연구팀 선임연구원
윤정원 (J.W. Yoon)	지능형작업제어연구팀 선임연구원
유원필 (W.P. Yu)	지능형작업제어연구팀 선임연구원, 팀장

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. 지능형 주행 기술
  - III. 지능형 조작 기술
  - IV. 결론

지능형 로봇은 21세기에 고도 성장할 것으로 예상되는 분야이다. 그러나 지능형 로봇의 활발한 산업화를 위해서는 “단품 로봇의 한계”를 극복해야만 한다. 이를 극복하기 위한 좋은 방법은 로봇의 지능과 능력을 외부로 분산시키는 방법이며, 이를 통한 지능형 로봇 구현이 URC의 핵심 개념이다. URC 구현을 위한 여러 핵심 기술 중에서 로봇의 물리적 행동 제어와 직접적으로 연관된 요소기술로 원하는 곳으로 이동할 수 있는 지능형 주행 기술과, 이동 후 필요한 작업을 수행하는 지능형 조작 기술을 들 수 있다. 이들은 고차원의 지능을 가진 사람에게는 쉬운 작업이나, 현재 기술 수준의 로봇에게는 무척 어려운 작업이며, 현재의 수준은 상용화를 위한 기초 기술 개발 단계이다. 본 기고문에서는 이상의 지능형 주행 기술과, 지능형 조작 기술의 세부 내용을 살펴보고, 국내외의 최신 연구 동향을 살펴보기로 한다.

## I. 서론

지능형 로봇산업은 가까운 미래에 세계적으로 고도성장이 예견되는 분야로서 우리나라의 경우에도 차세대 성장산업으로 인식되어 활발한 기술개발이 진행되고 있다. 그러나 지능형 로봇의 활발한 산업화를 위해서는 “단품 로봇의 한계”를 극복해야만 한다. 여기서 단품 로봇이란, 하나의 로봇 내에 모든 지능과 센서 기능이 탑재된 로봇을 의미하며, 이러한 로봇은 한정된 기능밖에 수행할 수 없게 된다.

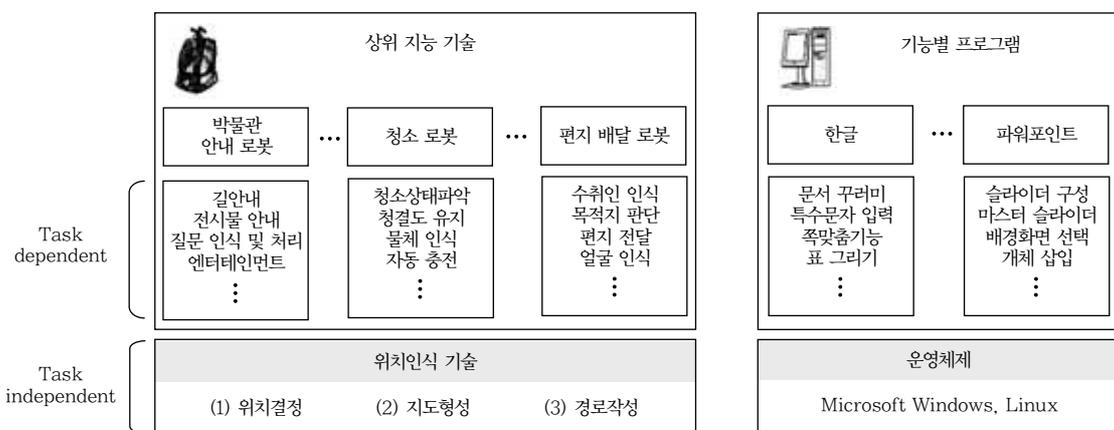
이를 극복하기 위한 좋은 방법은, 고성능 서버를 통해 로봇의 지능과 능력을 외부로 분산시키는 방법이며, 이를 통한 로봇의 구현이 “언제 어디서나 나와 함께 하면서 나에게 필요한 서비스를 제공하는 로봇”인 Ubiquitous Robotic Companion (URC)이다. 이는 기존 로봇의 한계를 효과적으로 극복할 수 있는 방법임과 동시에, 우리나라가 가지고 있는 IT 인프라를 최대한 활용함으로써, 기술의 선도적 위치를 차지할 수 있는 접근법이기도 하다.

URC 구현을 위해 다양한 기술들이 필요하지만 본 고에서는 URC의 물리적 행동을 실현하기 위한 핵심기술인 이른바 스마트 액션 기술에 대해 살펴보고자 한다. 스마트 액션 기술은 크게 1) 지능형 주행 기술과 2) 지능형 조작 기술로 나누어 질 수 있다.

이에 대한 설명을 사람의 행위와 비교해 보기로

하자. 김박사는 자판기 커피를 마시기 위한 작업을 의도하고 있다. 김박사는 우선 현재 자신의 위치를 파악해야 하고(localization), 자신의 주변에 어떤 곳이 막혀 있고, 어디가 계단인지에 대한 주변상황을 인지해야 하며(mapping), 마지막으로 자판기까지의 가장 편리한 경로를 계획하고 이동해야 한다(path planning & guidance). 이동중 출입구가 막혔을 경우에는 다른 경로를 탐색해야 하며(path re-planning), 갑자기 사람이 나타나면 서로 부딪히지 않도록 신경을 써야 한다(obstacle avoidance). 이러한 모든 일련의 과정들이 로봇의 지능형 이동 기술에 비유될 수 있다. 김박사가 자판기에 도착한 이후에는, 커피 메뉴 버튼을 눌러야 하고, 이를 위해서 23자유도(어깨 7자유도, 엄지손가락 4자유도, 4손가락 각각 3자유도)의 오른팔에 대한 경로를 계획한 후 움직여야 하며, 손가락 끝의 접촉 정보를 인지하여 적당한 힘을 쥐야 한다. 커피가 나온 이후에는 총 46자유도의 두 팔의 협업 작업을 통해, 왼손으로는 자판기 입구 덮개를 잡고, 오른손으로는 컵의 형태를 유지할 만큼의 적당한 힘을 주면서도 동시에 컵의 각도를 유지하며 커피를 꺼낼 수 있어야 한다. 이상의 일련의 과정들이 지능형 조작 기술에 해당한다.

이 중 지능형 주행 기술은 바퀴형 구동 타입을 가지는 모든 서비스 로봇에 적용되는 작업 독립적



(그림 1) 지능형 로봇과 컴퓨터와의 비교

(task-independent) 기술이며, 지능형 조작 기술은 로봇의 작업 목적에 따라 달리 개발되어야 하는 작업 의존적(task-dependent) 기술이다((그림 1) 참조). 따라서 지능형 주행 기술은 컴퓨터의 운영 체제(window, linux)로 비유할 수 있고, 지능형 조작 기술은 특정 작업을 위한 기능별 프로그램(한글, 파워포인트 등)에 비유할 수 있다.

본 기고문을 통해서서는 이상의 지능형 주행 기술과 지능형 조작 기술의 개발적 내용과, 국내외의 연구동향을 살펴보기로 한다.

## II. 지능형 주행 기술

지능형 주행 기술은 1980년대 이후, 학계를 중심으로 활발히 연구되어 왔다. 그러나 이후의 많은 연구에도 불구하고, 현재의 기술 수준은, 사람에게 비유하자면, ‘어두운 곳에서 두 팔을 뻗어 주변의 거리를 인식하고, 걸음 수를 세어가며 이동한 거리를 예측해야 하는 정도’ 밖에 되지 않는다. 이런 조건 하에서는 지적 능력이 우수한 사람이라 할지라도 주어진 지도에서 자신의 위치를 알아내고, 지도에 없는 부분들을 새로이 작성해 나가는 동시에, 평상시의 이동 속도를 유지하며 안전하게 이동하는 것은 무척 어려운 일이다.

현재의 지능형 주행 기술은 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 지능형 이동 기술의 수준을 단적으로 보여준다.

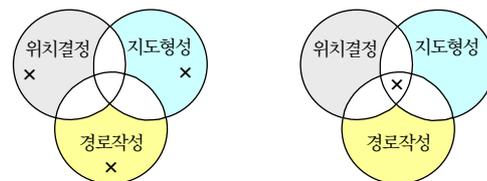
### 1. 필요조건

지능형 주행 기술은 크게 로봇의 현재 위치를 정확히 알아내는 ‘위치결정 기술’, 현재 작업중인 환경

을 파악해 내는 ‘지도형성 기술’, 작업 수행을 위한 이동 경로를 생성한 후 안전하게 이동을 수행할 수 있는 ‘경로작성 기술’로 분류된다. 이상의 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: URC 시대가 실현되기 위해서는 저가의 로봇이 생산되어야 한다. 그러므로 각각의 세부 기술들은 저가의 센서로도 구현이 가능해야 한다.
- 3) 상호 통합성 확보: 지능형 주행 기술은 세 가지 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 경로작성이 불가능하다면 이는 지능형 주행 기술 개발에 사용될 수 없을 것이다((그림 2a) 참조). 따라서 각각의 기술은 서로 통합될 수 있는 상호 통합성을 확보하고 있어야 한다((그림 2b) 참조).

아래에서는 이상의 세 가지 개별 기술들에 대한 소개를 싣고자 한다. 첫째, 이동로봇의 위치결정은 인간에게는 무척 간단하지만, 로봇에게는 가장 어려운 작업중의 하나이다. 그 이유는 로봇이 실생활 환



(a) 상호 비통합적 기술 (b) 상호 통합적인 기술

(그림 2) 세부기술의 상호 통합성에 대한 개념도

경에서의 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[2]. 지금까지의 위치결정 기술은 이러한 어려움들을 모두 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.

두번째로 지도형성이란 과거/현재의 모든 센서 정보로부터 예측된 주변 환경을 기억 장치에 저장하고 필요 시 이를 사용할 수 있도록 해주는 기술이다. 이러한 지도형성 기술 중 가장 힘든 부분은 순환구간이 있는 환경에 대한 지도를 구성하는 것이다. 현재 가장 앞선 연구의 경우[3], 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 적응할 수 있는 지도형성 기술이 필요하다.

마지막으로 경로작성이란 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.

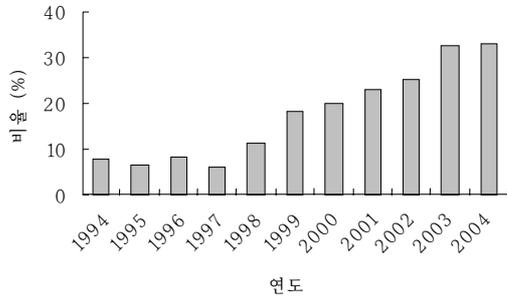
이 기술은 모든 형태의 이동로봇에 적용이 가능해야 하며, 동적인 환경에서도 안전성을 보장할 수 있어야 한다. 또한 상위 지능이 요구하는 최적의 경로를 실시간으로 생성할 수 있는 능력을 확보해야 하며, 사람의 움직임 등으로 센서의 정보를 신뢰할 수 없을 때에도, 최소한의 센서 정보만으로도 주어진 작업을 성공적으로 수행할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 요건을 모두 만족시키는 자율주행 기술은 아직 개발되지 않고 있다.

## 2. 학계의 동향

서비스로봇의 지능형 이동 기술인 위치결정, 지도형성, 경로작성은 꾸준한 학계의 주목을 받아오다가, 1989년 위치결정과 지도형성을 동시에 고려하는 SLAM의 연구로 이어지게 되었다. SLAM 기술을 중심으로 현재까지 수많은 지능형 이동 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 지능형 주행 기술 개발을 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 이는 세계적 로봇 학술회의인 ICRA에서 이동로봇 분야가 차지하는 비중((그림 3) 자체 분석 결과)에서 확인할 수 있다.
- 2) 지능형 주행 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 지능형 주행 기술 중, 세부 세 가지 분



( 3) (ICRA)

야들을 통합적으로 연구하고자 하는 경향이 대 두되고 있으며, 이를 통해 실제 적용이 가능한 기술 개발을 위한 접근이 시도되고 있는 단계 이다.

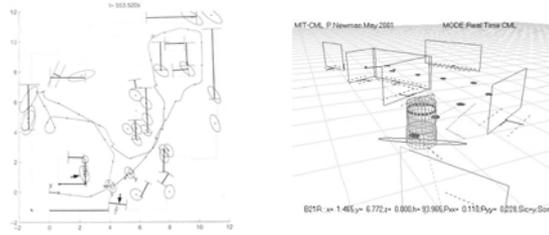
가. 외국 기술 수준

외국에서 개발된 기술들과 그 특징들을 살펴보면 다음과 같다.

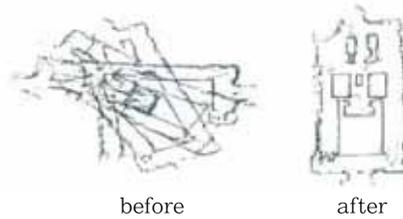
미국 MIT에서는 초음파 센서만을 이용한 SLAM 알고리즘을 개발하였다(그림 4a) 참조[4]. 이 알고리즘의 위치인식 오차는 100m 주행 시 약 40cm 정도이다. 저가의 초음파 센서들만으로도 구현이 가능하지만, 부정확성으로 인한 한계로 정적이면서도 직선으로 이루어진 환경에서만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

MIT의 다른 실험실에서는 레이저 센서를 이용하여 사람들이 움직이고 있는 실내 환경에서 위치인식과 지도형성을 동시에 수행하는 알고리즘을 개발하였다(그림 4b) 참조[5]. 이 알고리즘은 100m 주행 시에도 위치오차가 2cm 정도이지만, 고가의 레이저 센서를 사용한다는 단점을 가지고 있다.

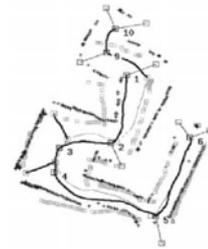
독일의 Freiburg 대학에서는 global map을 이용한 순환구간에 대한 지도형성 알고리즘을 개발하였다(그림 4c) 참조[3]. 로봇을 이용한 지도형성 과정 중 순환구간이 있는 환경에 대해 지도형성을 하는 것은 가장 어려운 부분 중의 하나이다. Freiburg 대학에서는 약 400m를 주행하며 5개의 순환구간에 대한 지도를 성공적으로 형성한 실험



(a) MIT 대학의 SLAM 연구 결과 (b) MIT J.Leonard 교수팀의 SLAM 연구 결과



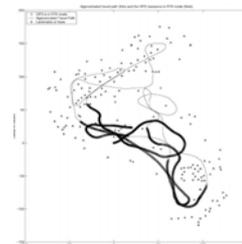
(c) 독일 Freiburg 대학의 SLAM 전/후 지도



(d) CMU의 H. Choset 교수의 topological SLAM



(e) CMU의 S.Thrun 교수의 SLAM 영상



(f) Sydney 대학의 실외 나무들을 이용한 SLAM

(그림 4) 외국 각 대학의 연구 결과

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 Carnegie Mellon University에서는 16개의 초음파 센서만을 이용하여 위치인식과 지도 형성 그리고 자율주행을 동시에 수행하는 알고리즘을 제안하였다(그림 4d) 참조[6]. 이 알고리즘은 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.

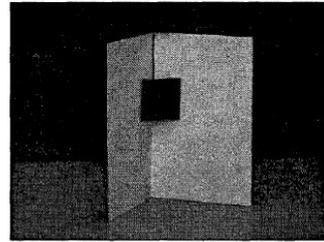
CMU의 다른 연구실에서는 확률적 계산방법을 이용하는 강인한 위치인식 알고리즘을 개발하였다(그림 4e) 참조[2]. 이 알고리즘은 사람이 많은 환경 속에서도 강인하게 동작하며, 실제 미국의 Smithsonian 박물관에서 안내용 로봇의 위치인식 알고리즘으로 사용되기도 하였다. 하지만 이 알고리즘을 구현하기 위해서는 정확한 지도를 미리 알고 있어야 한다는 것과, 1개 이상의 고가의 레이저 센서를 사용해야 한다는 단점이 있다.

호주의 Sydney 대학에서는 외부 환경에서 나무를 landmark로 이용하는 SLAM 알고리즘을 개발하였다(그림 4f) 참조[7]. 이 알고리즘에서는 Kalman Filter의 확장된 개념인 Extended Kalman Filter를 사용하고 있으며, 센서로는 고가의 레이저를 사용하고 있다. 주행 중 최대 위치 오차는 50cm 정도이지만, landmark들이 많지 않은 환경에서는 그 성능이 감소한다는 단점을 가지고 있다.

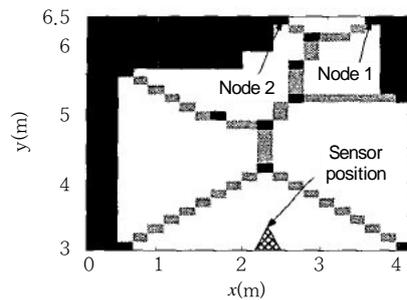
나. 국내 기술 수준

국내의 기술수준은 아직 외국의 수준에 비해서는 뒤떨어져 있는 것이 사실이다.

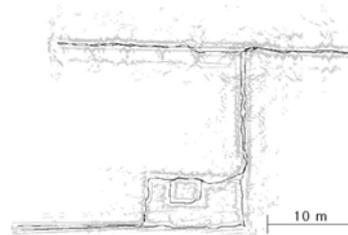
KAIST의 권인소 교수팀은 카메라 영상처리 기술을 이용하여 인공적인 landmark를 감지함으로



(a) KAIST 권인소 교수팀의 위치인식용 인공표시



(b) 고려대 송재복 교수팀의 세션화 기법



(c) 포항공대 정완균 교수팀의 위치 보정기술

(그림 5) 국내 각 대학의 연구 결과

써, landmark에 대한 상대적인 위치를 인식하는 위치인식 알고리즘을 성공적으로 개발한 바 있다(그림 5a) 참조[8]. 하지만 이 방법은 인공적인 landmark를 사용해야 한다는 것과, 로봇과 landmark 사이의 거리가 멀어질수록 위치 오차가 증가한다는 것, 그리고 어두운 환경에서는 사용될 수 없다는 단점을 가지고 있다.

고려대학교 송재복 교수팀은 세션화 기법을 이용하여 local map을 형성한 후 이를 global map과 비교함으로써 위치인식을 수행하는 알고리즘을 개발하였다(그림 5b) 참조[9]. 그러나 이 기법은 grid map에 기초하고 있기 때문에 가장 정확하게 위치인식을 수행한 이후에도 최소 5cm의 위치 오

차를 가지게 되며, 복도와 같이 단순한 환경에서는 위치인식이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

포항공과대학교 정완균 교수팀은 위치결정의 핵심 기술 중 하나인 ‘odometry’를 이용한 정밀한 위치인식 기법에서 세계 수준의 기술을 보유하고 있다(그림 5c) 참조)[10]. 그리고 건물 내부의 복도 환경에서 저가 센서를 이용하여 SLAM을 수행하는 CT-algorithm을 개발하였다. 이 알고리즘은 이동로봇이 얻을 수 있는 가능한 많은 정보인 정확한 odometry, 노드의 주변 데이터, 에지의 데이터, 지나온 노드와 에지의 history 등에 기반하여 위치 결정을 수행한다.

### 3. 산업계의 동향

최근 국내외적으로 이동로봇에 기반을 둔 로봇들이 선보여지고 있다. 이중 대부분을 청소용 로봇이 차지한다. 국외에서는 미국의 i-Robot사가 저가의 청소용 로봇(199달러) ‘롬바’를 선보였으며(그림 6a) 참조), 스웨덴의 Electrolux사는 ‘트릴로바이트’(2,800달러)라는 진공 청소 로봇을 시판하였고, 독일의 카처사에서 ‘RC3000’이라는 로봇을 출시하였다(그림 6b) 참조). 이중 롬바는 한국 청소로봇 시장의 90% 이상을 점유하며 2004년 6월 이후 2000여 대의 판매고를 올리고 있다. 국내에서도 KIST, 우리기술 등의 연구소나 회사들을 중심으로 청소로봇 ‘아이작’ 등의 로봇들이 개발되었다. 그러나 지능형 주행 기술의 부족으로 인해 개발된 로봇들의 완성도는 그리 높지 못한 실정이다. ‘롬바’의

경우는 최소한의 센서(~20달러)만을 사용하기 때문에 단순한 패턴만을 반복하며 작동하고 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. 자기위치를 스스로 인식해 바둑판식으로 움직이며 청소할 수 있는 2세대 로봇들이 개발되어 출시를 기다리고 있지만 지능형 주행 기술과 관련해서는 뛰어난 성능을 기대할 수는 없을 것으로 판단된다.

이에 반해 연구용 이동로봇으로 각종 센서를 부착한 고가의 제품이 Evolution Robotics사에서 판매되고 있다. 이 로봇은 USB 카메라와 적외선 센서를 이용하여 SLAM을 수행한다(v-SLAM). 가격이 저렴하지만 많은 정보를 얻을 수 있는 비전 센서와 장애물을 탐지할 수 있는 적외선 센서를 이용한 이 기술은 비교적 뛰어난 성능을 보이고 있으며 앞으로의 지능형 주행 기술 발전에 하나의 방향이 될 것으로 보인다.

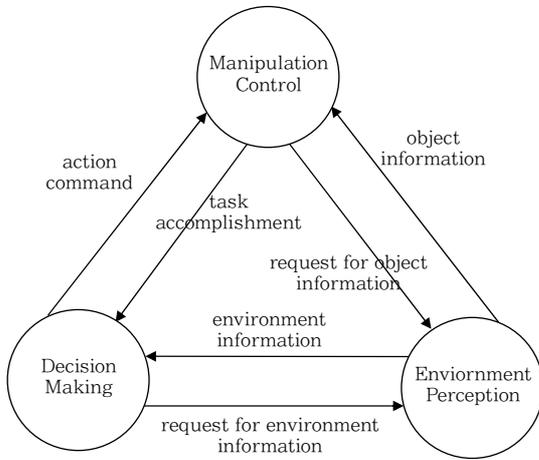
## Ⅲ. 지능형 조작 기술

### 1. 지능형 조작 기술 개념

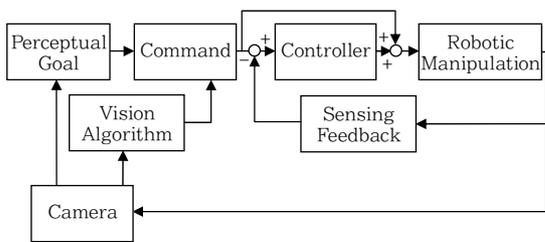
로봇의 지능형 조작은 로봇이 물리적인 상호작용으로 최종단계에서의 서비스를 수행하기 위한 일련의 행동으로 정의된다. 따라서, 조작 기능을 갖춘 로봇이 스마트 환경의 결정권자(decision making)로부터 구체적인 서비스(action)를 입력 받아야 하고, 서비스를 수행하기 위한 궤적 생성을 통해 객체로 이동하고, 최종적으로 객체와의 물리적인 상호작용으로 서비스를 수행(manipulation)할 수 있어야 한다. 이때 객체를 조작하기 위해서 객체의 위치, 형상, 재질 등의 정보를 인지(perception)하는 과정이 조작제어를 위해서 필요하다(그림 7) 참조).



(a) 미국 i-Robot사의 롬바 (b) 독일 카처사의 RC3000  
(그림 6) 청소용 로봇



(그림 7) 스마트액션 기반의 조작 프레임워크



(그림 8) 지능형 강건 조작 제어기

서비스 내용(perceptual goal)에 따른 객체의 조작 제어를 위해 비접촉 방식인 비전 센서 등으로 다양한 객체의 위치 및 형상을 유연하게 측정하여 궤적 생성을 수행할 수 있는 정보를 제공한다. 이후, 객체의 위치를 파악한 후 팔을 이동하여 최종적으로 파지(grasping) 동작이 일어나게 된다. 이때, 보다 강건한 파지 동작을 위해서 부가적으로 촉각정보를 조작기 말단부에서 피드백 시켜주는 제어를 수행할 수 있다. (그림 8)은 이상의 작업을 수행하기 위한 지능형 조작 제어기의 블록다이어그램을 보여준다. 강건 조작을 위해 시각 피드백 및 촉각 피드백이 outer-loop과 inner-loop 형태로 피드백 된다.

## 2. 이동조작기

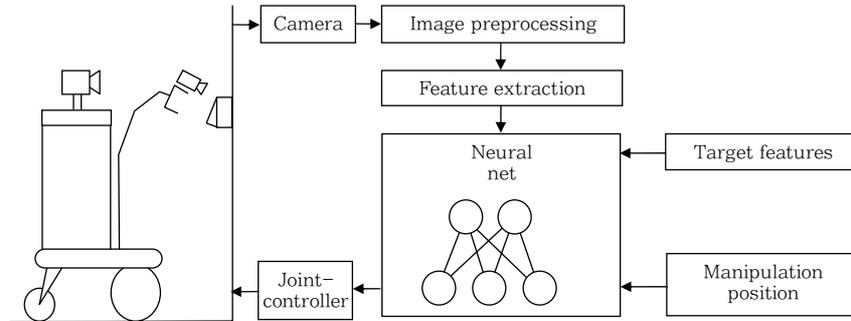
인간과의 상호 작용이 필요한 지능형 로봇의 대표적인 조작 플랫폼 형태는 이동조작기(mobile manipulator)이다. 이동조작기는 관절 로봇팔(링크부) 및 손(말단부)이 이동로봇에 부착되어 있는 로봇으로 정의된다. 관절 로봇팔은 큰 작업공간 발생능력으로 원하는 위치로 이동할 때 사용되고, 손은 로봇팔 말단부에 부착되어 객체를 잡을 때 사용된다. 로봇팔 말단부는 3차원 공간상에서 객체를 조작하기 위해 6자유도 운동을 발생시킬 수 있어야 한다. 로봇팔은 큰 작업공간을 생성시킬 수 있는 직렬형 관절 조작기(serial manipulator)이 대부분 사용되고 있다. 반면, 손 부분은 일반적으로 1자유도의 간단한 gripper 타입에서 인간 손과 유사한 복잡한 형태의 finger 타입까지 조작하고자 하는 객체 형상 및 재질에 따라서 다양하게 설계될 수 있다.

이동로봇은 자유롭게 작업환경에서 움직일 수 있고 주위환경에 적응할 수도 있지만, 작업공간 안에 위치한 객체들과 직접적인 상호작용을 할 수가 없다. 따라서, 이런 제한을 극복하기 위해서 이동조작기가 적용되고 있다. 이동조작기는 이동로봇의 높은 이동성을 이용하여 가용 작업공간을 증가시키고, 조작기를 사용하여 주위 환경과 상호작용 할 수 있고 작동 능력 및 유연성을 증가시킬 수 있다. 따라서, 이동조작기를 이용하여 실내환경에서의 다양한 서비스를 수행할 수 있다. 예를 들어, 닫혀진 방 및 공간들에 접근할 수 있도록 문을 열 수도 있고, 이동로봇에 부착된 카메라에 적합한 빛 조건을 만족하기 위해서 실내의 전등을 켤 수도 있다. 또한, 조작기에 부착된 카메라를 이용하여 이동로봇에 부착된 카메라가 볼 수 없는 3차원 환경을 구현하는 데 도움을 줄 수도 있다. 그리고, 비교적 가벼운 객체의 이송 및 조작을 수행할 수 있다.

이동조작기 제어가 도우미 로봇으로 실내에 위치한다면 알려지지 않은 다양한 환경에서 작업해야 할 경우가 생긴다. 따라서, 카메라를 통해 얻은 시각정보를 이용해 환경인지에 의한 조작을 수행하는 비주

얼 서보잉(visual servoing) 기술을 사용할 수 있다. 이때, 가능한 CCD 카메라를 로봇 손(gripper) 가까운 곳에 위치시킨다. 이 구조는 로봇팔 말단부

grasping 분야, 유연객체(non rigid object)의 조작, 촉각 피드백을 위한 햅틱(haptic) 디바이스,



(그림 9) 이동조작기의 지능 조작제어

에서의 실제적인 영상을 제공하여 원하는 객체의 조작 제어를 수월하게 한다. 또한, 인공 신경망을 이용한 지능제어기법을 비전 알고리즘에 적용하여 학습을 통해 로봇이 독립적으로 다양한 환경에 적응하도록 할 수도 있다. (그림 9)는 이상으로 설명한 비주얼 서보잉에 기반한 이동조작기의 지능 조작제어를 나타내고 있다[11].

재활 및 의료용으로의 적용, 원격지에서의 조작을 위한 지능형 원격제어 분야 등이 있다. 이외에 최근에는 비전을 포함한 센서 기반의 유연 조작 및 지능형 조작을 위한 환경인지 등에 관련된 연구가 진행되고 있다. 본지에서는 인간 친화형으로 가정 및 사무실과 같은 실내에서 사람에게 최종적인 서비스를 수행할 수 있는 이동조작기에 대한 현황을 소개하겠다.

### 3. 지능형 조작의 최근 기술 동향

로봇의 조작 능력은 기존 공장 자동화의 조립 분야에서부터 원격수술, 우주작업공간, 수중작업 등과 같이 사람이 직접 조작하기 힘든 특수분야까지 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 인간 친화적인 지능형 로봇의 발전과 더불어 인간 친화적인 지능형 조작에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 최근에는 2004년도에 최초로 열린 IEEE 주관의 International Conference on Intelligent Manipulation and Grasping 학회[12]에서 120편 정도의 지능형 로봇조작 분야의 논문이 발표될 정도로 지능형 조작 연구가 활기를 띠고 있다.

산업용 로봇의 조립 및 용접용 로봇에 비해 이동조작기 분야는 비교적 초기 연구개발 단계라고 할 수 있다. 국외에서는 휠체어에 부착된 조작기를 팔이 불편한 장애인[13]으로 상품화 하였고, 화성의 지면에서의 암석 채취 및 물의 발견을 위해서 조작 기능을 갖춘 화성 탐사 로봇[14]을 개발하였다. ISAC[15]은 가정 및 병원에서 거동이 불편한 노인 및 환자의 독립적인 생활이 가능하도록 지원하는도우미 로봇으로 개발되었다. 공압 구동기(rubber pneumatic actuator)를 이용한 로봇팔 및 CCD 카메라를 이용한 시각정보 피드백으로 사용자에 대한 안정성을 증가시키는 로봇팔을 구현하였다. 또한, 음성 및 촉각 등의 멀티모달 인터페이스의 사용으로 사용자의 접근성을 증가시켰다. 이외에 2대 이상의 이동조작기를 이용한 협업제어[16] 등의 연구가 이뤄지고 있다.

지능형 로봇 조작의 연구테마는 로봇팔 및 손의 설계를 위한 기구적 조합 및 해석 분야, 보다 미세하고 정교한 조작을 위한 촉각 센서 및 구동기 설계, 다양한 형태 및 재질의 객체를 조작할 수 있는

국내에서는 단순 교육용[17]으로 이동조작기가 개발되었다. 최근에는 KIST 주관으로 개발되어 상품화에 성공한 ROBHAZ[18]가 있다. ROBHAZ는 위험지역에서의 작업조작을 위해 원거리 스테레오 비전 시스템과 힘 반향 조작장비를 이용한 원격 조작 기능을 첨가함으로써 조작성을 향상시켜 군사용으로 적용되었다. 이동조작기를 이용한 재활분야로의 적용도 활발히 진행되고 있는데, KAIST 인간친화 복지로봇 시스템 연구센터에서는 휠체어 기반의 재활로봇 시스템 KARES II[19]를 개발하였다. KARES II는 비전 센서를 이용해 로봇팔의 자율 제어 및 사용자 의도파악을 통해 인간 친화적인 상호작용이 가능하도록 하였다. 공공서비스 로봇용으로

로 KIST에서는 이동조작기 PSR1[20]을 제작하여 실내 문 조작에 관련한 연구를 수행하였다.

현재까지 개발된 대부분의 이동조작기((그림 10) 참조)는 제한된 환경에서 비전 센서 등을 이용한 사물 인식 및 간단한 조작기술에 초점을 맞추었다. 하지만, 이동조작기가 방과 같은 인간 친화형 환경에서 보다 많은 서비스를 제공하고 많은 수요를 창출하기 위해서는 불확실하고 동적인 환경에 능동적으로 대처할 수 있는 환경 인지 기술 및 강건 조작 기술 개발이 필요하다. 또한, 청소 로봇과 같은 killer application 발굴 및 가격 경쟁력을 고려한 모듈화와 최적 기구설계 등의 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 생각된다.



(a) MANUS



(b) ROBHAZ



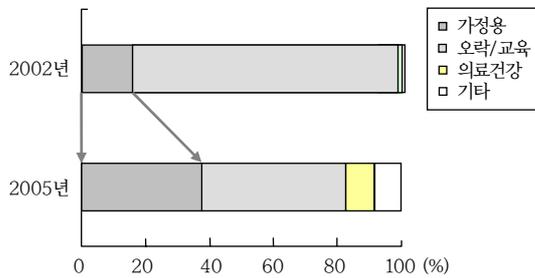
(c) PSRI

(그림 10) 개발된 이동조작기

## IV. 결론

앞으로의 로봇 시장은 서비스 로봇을 중심으로 개편될 것이며, 이는 3D 기피현상, 노동임금 증가, 노령화 사회 등에 대한 훌륭한 대안이 될 것이다. 또한 서비스 로봇의 규모 역시 앞으로는 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. IFR의 보고서 따르면 지난 1999년 세계 서비스 로봇의 시장 규모는 6600대였으나, 2003년에는 89만 2000대에 이를 것으로 전망된다(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 예측하였다. 이러한 지능형 로봇의 산업성장 중에서, 가정용로봇에는 지능형 주행 알고리즘이 가장 핵심적인 기반 기술이 될 것이다. 이러한 가정용 지능형 로봇 시장은 2002년 현재 전체 로봇 시장의 15.54%에서 2005년에는 37.68%로 증가할 것으로 예상되고 있다(그림 11) 참조).

지능형 로봇 기술을 포함한 정부 지원의 전체적인 로봇 연구 개발은 지난 10여 년간 산업자문부와 과학기술부를 중심으로 이루어져 왔으며, 그간 150억 원/년 정도의 연구비가 지원되어 왔다. 정부는



<자료>: ActiveMedia Research, 2001.

(그림 11) 세계 지능형 로봇의 부문별 생산비중

지난해부터 몇몇 대기업들과 손을 잡고 위치결정 및 자율주행에 초점을 맞춘 서비스 로봇 기술 개발에 뛰어 들었다. 또한 정부는 1998년부터 2003년까지 로봇을 국가중점연구사업의 하나로 선정하고 총 100억 원 규모의 연구비를 투자하고 있으며, 민간 기업은 이 사업에 총 50억 원을 투자하고 있다(전자 부품연구원 주간보고서, 2002년 3월). 또한 2004년 산업자원부는 10대 차세대 성장동력산업 중의 하나로 지능형 로봇을 선정하여 지원을 시작하였으며, 정보통신부 역시 URC 사업을 통해 지능형 로봇 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

지능형 로봇 분야는 이미 미국과 일본에서 주요한 미래기술로 선정하여 국가 차원의 투자를 하고 있다. 지능로봇 분야의 기반기술이라 할 수 있는 지능형 주행 및 조작 기술과 관련된 연구 분야에 있어서는 선진국과 기술 수준의 차이가 크다고 할 수 있다. 위의 사항과 관련된 국내 연구 수준은 선진국에 비해 4~5년 정도 뒤쳐진 정도라고 판단된다.

하지만 국내의 기초적인 인터페이스 및 프로그램 기술은 상당한 수준에 올라있으며, 서비스 로봇과 효과적으로 결합될 수 있는 IT 산업이 발전되어 있기 때문에 효과적인 지능형 주행 및 조작 알고리즘이 개발된다면 우리나라도 로봇 선진국으로서 자리매김할 수 있을 것으로 예상된다.

## 약어 정리

CT Cheap Topological

ICRA International Conference on Robotics and Automation  
 ISAC Intelligent Soft Arm Control  
 ROBHAZ Robot for Hazardous Application  
 SLAM Simultaneous Localization and Mapping  
 URC Ubiquitous Robotic Companion

## 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, 1996, pp.869-880.
- [2] S. Thrun, D. Fox, W. Burgard, and F. Dellaert, "Robust Monte Carlo Localization for Mobile Robots," *Artificial Intelligence*, Vol. 128, 2001, pp.99-141.
- [3] J. Gutmann and K. Konolige, "Incremental Mapping of Large Cyclic Environments," *Computational Intelligence in Robotics and Automation*, 1999, pp.318-325.
- [4] J.D. Tardós, J. Neira, P.M. Newman, and J.J. Leonard, "Robust Mapping and Localization in Indoor Environments Using Sonar Data," *Int'l Journal of Robotics Research*, Vol.21, No.4, 2002, pp.311-330.
- [5] 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'l Conf. on Robotics and Automation*, 2002, pp.1802-1809.
- [6] H. Choset and K. Nagatani, "Topological SLAM: Toward Exact Localization without Explicit Localization," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.17, No.2, 2001, pp.125-137.
- [7] 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, 2001, pp.229-241.

- [8] G. Jang, S.H. Lee and, I. Kweon, "Color Landmark Based Self-localization for Indoor Mobile Robots," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, 2002, pp.1037-1042.
- [9] 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'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2002, pp.552-557.
- [10] N.L. Doh, H. Choset, and W.K. Chung, "Accurate Relative Localization Using Odometry," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, accepted, 2003.
- [11] [http://www.techinfo.rwth-aachen.de/Forschung/M SR/Manus/index\\_e.html](http://www.techinfo.rwth-aachen.de/Forschung/M SR/Manus/index_e.html)
- [12] <http://www.dimec.unige.it/PMAR/IMG04/>
- [13] <http://www.exactdynamics.nl/>
- [14] I.A. Nesnas, M. Maimone, and H. Das, "Rover Maneuvering for Autonomous Vision-Based Dexterous Manipulation," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, Vol.3, 2000, pp.2296-2301.
- [15] R.A. Peters II, M. Bishay, M.E. Cambron, and K. Negishi, "Visual Servoing for Service Robot," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.18, 1996, pp.213-224.
- [16] T.G. Sugar and V. Kumar, "Control of Co-operating Mobile Manipulators," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.18, No.1, 2001, pp.94-103.
- [17] <http://rnd.re.kr>
- [18] <http://www.robhaz.com/>
- [19] Z. Bien et al., "Integration of a Rehabilitation Robotic System(KARES II) with Human-Friendly Man-Machine Interaction Units," *Autonomous Robots 16*, 2004, pp.165-191.
- [20] C. Rhee et al., "Door Opening Control Using the Multi-fingeredhand for the Indoor Service Robot," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, Vol.4, 2004, pp.4011-4016.