

## 유연성 매니퓰레이터를 갖는 지능형 이동로봇

이주장, 박강박

한국과학기술원, 전기및전자공학과

### Intelligent Mobile Robot with Flexible Manipulators

Ju-Jang Lee and Kang-Bark Park

Department of Electrical Engineering, KAIST

## II. 이동로봇의 지능운행 시스템의 개발

### Abstract

This paper reports the current state of the intelligent mobile robot with flexible manipulators. Several technologies that have been developed and/or being developed are presented in this paper.

### I. 서론

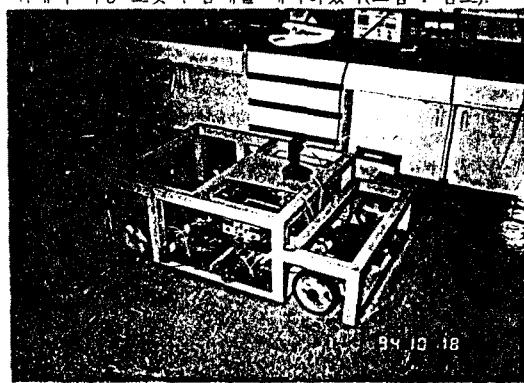
사회가 발전함에 따라 이동로봇 시스템의 다양한 발전이 요구되고 있다. 이러한 이동로봇 시스템의 개발은 면리한 시스템의 제공과 함께 인간이 일을 하기에 힘들고 위험한 곳에서의 대체 등의 문제를 해결해 준다. 장애자용 소형 이동로봇이나 공장에서 쓰이는 무인 운송용차(Autonomous Guided Vehicle: AGV), 나아가서 우편 배달 등의 무인 자동차, 국방에 쓰이는 무인 장갑차 탱크, 원자력 발전소 내에 쓰이는 원격 조정용 이동로봇은 물론 우주개발에 쓰이는 탐사용 이동로봇 등의 개발을 위하여 필수적인 과제이다.

본 논문에서는 이러한 지능형 이동로봇 시스템 구성에 필요한 분야 중 경로 계획, 생성, 추적의 지능제어이론, 유연성 로봇팔의 제어, 실시간 화상처리 시스템 개발 및 센서를 기초로한 유연성 매니퓰레이터의 진동을 감소시키는 분야에 대한 기초 연구에서 얻어진 결과 및 앞으로 해야 할 일을 기술한다.

본 논문의 구성은 이동로봇의 지능운행 시스템의 개발, 유연성 로봇 매니퓰레이터에 대한 견실한 적용제어기의 설계, 화상 불변성을 이용한 실시간 화상처리 시스템의 개발, 매니퓰레이터의 능동적 퍼지 제어 시스템의 개발로 이루어져 있다.

본 세부 연구 분야에서는 지능형 이동로봇에 대한 기구학적 및 동역학적 모델링을 유도하고, 실제로 하드웨어를 구성하여 지능형 이동로봇의 지능적인 운행을 위한 Fine Grained 경로를 생성하고 생성된 경로를 추적하는 지능적인 운행 기법을 개발하는데 그 목적이 있다. 개발하고 있는 지능형 이동로봇은 유연성 로봇 매니퓰레이터를 탑재하는 로봇이므로 유연성 로봇 매니퓰레이터의 동역학에 대한 정보가 필요로하게 된다. 또한 탑재할 로봇 팔의 유연성으로 인하므로해서 야기되는 이동로봇의 진동을 억압시키기 위해서는 퍼지 기법을 이용한 진동제어에 대한 정보도 필요하다. 뿐만 아니라, 이동로봇의 현재 위치 및 그 위치 오차의 오차보정을 위해서는 영상정보를 통한 오차정보를 이용해야만 유연성 매니퓰레이터가 탑재된 이동로봇의 운행이 원활하게 이루어질 수 있다.

본 세부 연구 분야는 유연성 매니퓰레이터를 갖는 지능형 이동로봇의 운행기법을 개발하는 데에 그 목적이 있다. 즉, 실제적인 여러 제약점에도 불구하고 이동로봇을 원하는 지점까지 움행하게 하는 것이 그 목적이다. 이를 위해서 이동로봇의 몸체를 제작하였다(그림 1 참조).



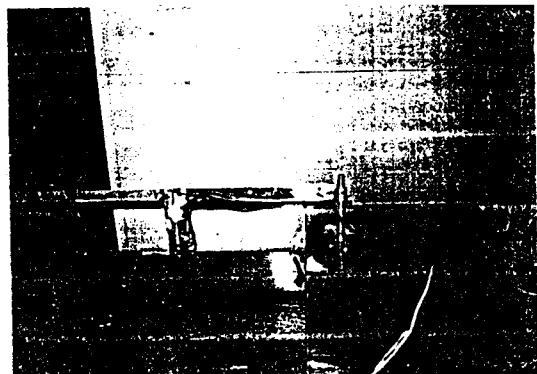
[그림 1] 제작된 이동로봇의 몸체 외관 모습

앞서도 지적하였듯이, 이러한 이동로봇은 탑재한 로봇 매니퓰레이터의 유연성으로 인하여 진동이 야기될 수 있으며, 이를 위해서는 curvature의 연속성을 유지하면서 이동로봇의 조향(steering)이 되도록이면 부드럽게 되도록, 기준 경로를 설계하는 것이 중요하다. 또한, 실제적인 문제에 있어서 이동로봇의 조향은 순간적으로 많은 양을 이동할 수 없을 뿐더러 그 변화율(조향의 시변량)도 너무 크게 되면 기준 조향을 이동로봇이 쫓아갈 수 없다. 따라서, 본 세부 연구에서는 curvature의 연속성을 유지하는 동시에 curvature의 변화율의 연속성까지 보장하는 경로를 생성하는 방법에 대해서 집중적으로 연구를 하였다. 이를 위해서 이동로봇의 모델에 대한 Kinematics와 기구학적 동역학을 유도하고 설계하였다. 그리고 충돌회피 알고리듬에 대해서도 연구를 수행하였다. 또한, 지능형 이동로봇의 몸체를 설계 및 제작을 하였으며, 운행 시스템에 대해서는 간단한 실험을 수행하였다. 앞으로 제작된 유연성 매니퓰레이터 및 비전 시스템도 또한 이동로봇의 앞부분에 장착할 것이다.

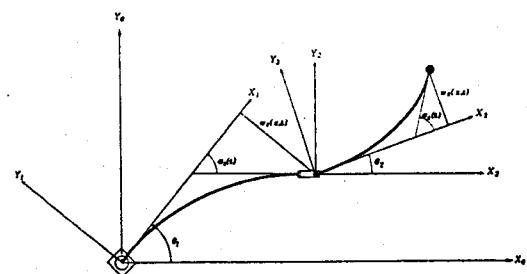
### III. 유연성 매니퓰레이터에 대한 견실한 적응제어기의 설계

본 세부 연구 분야에서는 지능형 이동로봇에 탑재된 gripper를 갖는 2-link 유연성 로봇 팔에 관한 기구학적 및 동역학적 모델링을 유도하고 유도된 모델링을 토대로 하여 외란 및 비 모델화된 동적 특성 하에서도 정밀성을 물론 견실한 제어 특성을 갖는 적응제어 및 VSS-MinMax 이론을 이용한 제어기를 구성하고 주어진 작업을 실시간으로 처리할 수 있는 제어시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개발함에 그 목적을 둔다. 지능형 이동로봇에 장착될 2-link 유연성 팔에 대하여 고도의 정밀성을 갖는 제어기의 구현을 위하여 이동로봇의 지능 운행경로 및 운행중인 이동로봇의 동역학에 대한 정보가 제어기의 설계에 반영되어야 한다.

Two link flexible robot에 대한 전체적인 시스템 구성은 [그림 2]와 같으며 그 모델은 [그림 3]과 같다. Flexible arm의 휨에 대한 sensing은 CCD Camera 대신에 strain gauge를 사용하였다. Main controller는 DSP chip과 dual port RAM을 이용하여 구현하고 있다.



[그림 2] 실제 실험을 위해 제작된 유연성 로봇 팔



[그림 3] 두 관절 유연성 로봇의 모델(좌표 시스템)

앞으로 진행중인 부분을 완료하고 관련 software를 개발하고, flexible dynamics 식에 근거한 flexible control을 여러 가지 알고리듬을 통해서 개발하고 실험할 수 있는 tool kit을 개발한다. 특히 PC 구동 program을 사용자와 실험자가 쉽게 접근하기 위해서 user friendly한 GUI부분을 설계하고자 한다.

### IV. 화상불변성을 이용한 실시간 화상처리 시스템 개발

본 세부 연구 분야는 지능이동로봇(Intelligent Mobile Robot)의 실시간 영상처리시스템(Real-time Image Processing System)을 개발하는 것을 그 목표로 한다. 이 영상처리 시스템은 장애물의 실시간 회피기능(Real-time Obstacle Avoidance)과 실시간 자기위치인식(Real-time Self-localization)능력을 이동로봇에 부여함을 그 구체적인 목표로 한다. 본 세부과제에서는 로봇의 위치나 카메라의 projection model에 관계없이 변화하지 않는 화상불변량을 실시간에 계산하는 알고리듬을 개발하고, 계산된 화상불변량을 이용하여 장애물을 회피와 로봇의 자기위치인식을 실시간에 실현하고, 움직이는 물체를 실시간에 추적하도록 한다.

이를 위하여 화상불변량을 이용한 로봇의 자기위치 인식시스템을 구축하고, 간이 공간에서 적용하여 로봇의 자기위치 인식 과정에 대한 실험을 수행하였으며, 움직이는 물체를 추적하기 위하여 칼만필터를 이용한 시스템을 구축, 실제 환경에서 적용하였다(그림 4 참조).

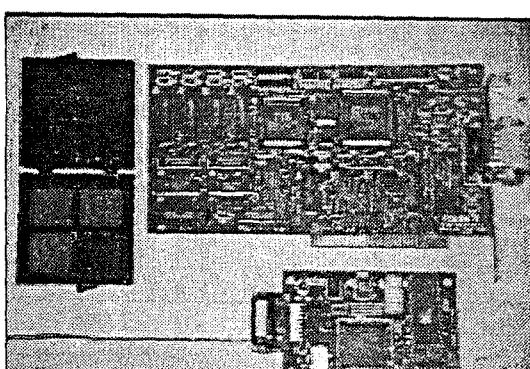


[그림 4] 실제 비전용 실험 대상 환경

추후로는, DSP 보드를 이용한 실시간 비전처리 시스템 구축, 이동로봇에 실시간 비전처리 시스템 장착후 실제환경에서 실험, 1-D laser range sensor의 개발(장착하여 거리 계측의 정확도를 개선), Reactive path planning(일차 미분 화상불변량을 이용하면 임의의 물체에 대한 아래의 정보를 추출할 수 있다), 및 물체와의 충돌회피 및 물체 추적 알고리듬의 개발(Time-to-contact 및 surface normal을 이용한 장애물 회피 및 물체 추적 알고리듬의 개발)을 하려고 한다.

## V. 매니퓰레이터의 능동적 퍼지 제어시스템의 개발

본 세부 연구 분야에서는 Cell-상태 천이 기법을 완성하고 능동적 퍼지제어기에 적용하였으며, 능동적 퍼지 제어의 접촉 힘제어 용·용과 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 능동적 퍼지 제어 시스템의 하드웨어의 개발하고, 능동장치(torque wheel)의 개발 및 테스트, 실험을 수행하였다(그림 5 참조).



[그림 5] 퍼지가속기 및 퍼지 모듈

추후 연구 계획으로는 유연성 매니퓰레이터의 능동적 퍼지 학습법칙의 개발 및 모빌 로봇에 유연성 팔과 함께 능동적 제어기 부착, 그리고 매니퓰레이터 end-tip의 직교 좌표를 측정하여 능동적 퍼지 제어기의 학습에 필요한 데이터 베이스 확보가 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 유연성 매니퓰레이터를 갖는 지능형 이동로봇 시스템 구성을 위한 경로 계획, 생성, 추적의 지능 제어이론, 유연성 로봇팔의 제어, 실시간 화상처리 시스템 개발 및 센서를 기초로한 유연성 매니퓰레이터의 진동을 감소시키는 분야에 대한 연구 결과를 제시하였다. 앞으로는 이를 좀 더 개량하여 센서를 부가하여 센서퓨전을 통한 위치 정의 및 유연성 로봇 매니퓰레이터의 작업범위의 확장 등을 꾀하는 것이 과제라고 할 수 있다.

본 논문은 1992-1995년도 한국과학재단의 특정연구 개발과제로 선정되어 연구되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Lozano-Perez, T., "Automatic planning of manipulator transfer movements," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybern.*, Vol. SMC-11, pp. 681-698, 1981.
- [2] Nelson, W. L., "Continuous steering function control of robot cart," *IEEE Trans. of Industrial Electronics*, 1988.
- [3] R. Ortega and M. Spong, "Adaptive motion control of rigid robots: a tutorial," *Automatica*, Vol. 25, No. 6, pp. 877-888, 1989.
- [4] E. Bayo, "A finite-element approach to control the end-point motion of a single-link flexible robot," *J. of Robotic Systems*, Vol. 4, No. 1, pp. 63-75, 1987.
- [5] N. P. Papanikolopoulos, and P. K. Khosla, "Adaptive robotic visual tracking: theory and experiments," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 38, No. 3, pp. 429-445, 1993.
- [6] D. Koller, K. Daniilidis, and H. H. Nagel, "Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes," *Internal Journal of Comput. Vis.*, Vol. 10, No. 3, pp. 257-281, 1993.
- [7] N. Hogan, "Impedance control: an approach to manipulation," in *Proc. American Contr. Conf.*, San Diego, pp. 6-8, 1984.