

## Study on a Mobile Manipulator Based on Omnidirectional Mobile Robot

김 태 경, 김 준 영, 정 슬  
(Tae Kyung Kim, Jun Young Kim and Seul Jung)

Intelligent Systems and Emotional Engineering Lab.  
Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

**Abstract** : 본 논문에서는 이동로봇 기반의 매니플레이터 시스템의 구현과 제어에 대해 소개한다. 모바일 매니플레이터는 매니플레이터와 이동로봇이 합쳐진 시스템으로 전방향 이동로봇 위에 3축 매니플레이터를 달았다. 전방향 이동로봇은 DC 모터로 구동되고 매니플레이터 부분은 AC 모터로 구동되는 구조를 가지므로 두 가지 구동기를 모두 제어하여 한 시스템으로 구현하였다. 실제 실험을 통해 로봇의 움직임을 확인해 보았다. 글씨쓰기 실험을 통해 모바일 매니플레이터의 장점을 확인할 수 있었다.

**Keywords** : Mobile manipulator, omnidirectional mobile robot, three link manipulator

## I 서론

이동로봇은 극한 지역의 탐사나 행성의 탐사 등과 같은 접근하기 어려운 지역에서 카메라로 정보를 수집하는 역할을 주로 수행하여 왔다. 최근에는 이동로봇의 정보 수집 역할과 함께 직접 샘플을 채취하거나 작업을 수행하는 등의 고난이도 작업을 요구하고 있다. 샘플을 채취하기 위해서는 로봇 팔이 필요하게 되어 이동로봇에 팔을 부착한 형태인 모바일 매니플레이터 구조가 필요하게 된다. 또한 최근에는 가정이나 빌딩에서 작업하는 서비스 로봇에 대한 수요가 요구되고 있어 모바일 매니플레이터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

와세다 대학의 Twendy-One은 가정용 로봇으로 로봇 팔을 가진 서비스 로봇이다. 영상처리를 통해 로봇 팔이 작업을 할 수 있다[1]. KOBOKER는 밸런싱 이동로봇에 로봇 팔이 달린 구조를 가진다. 바닥 작업이 필요한 한국의 특성을 고려하여 팔의 길이를 길게 설계하여 바닥에 있는 물체를 쉽게 처리할 수 있도록 하였다[2].

실내에서의 작업은 좁은 공간에서 행하여야 하는 경우가 많으므로 측면으로 진행이 가능한 전방향 이동로봇의 쓰임이 효율적이라 할 수 있다[3,4]. 그러므로 본 논문에서는 전방향 이동로봇기반에 로봇팔을 달아 모바일 매니플레이터를 구현하였다. 3축 Manipulator는 AC서보 모터 3개를 이용한 3자유도 Robot이며, 산업용 AC 모터 드라이버를 통하여 높은 토크와 정밀한

제어가 가능하다. 전방향 이동로봇은 3개의 DC모터와 Omni-Wheel을 이용하여 동작하며, Y자 형태로 모터를 배치하여 조향 없이도 전 방향으로 움직임이 가능하다.

제어 하드웨어 설계에 있어 FPGA와 DSP로 이루어진 기존의 로봇 팔 시스템을 DSP만으로 제어를 하도록 재설계함으로써 비용의 절감효과를 꾀했다. 또한 하드웨어를 보강하고 새로운 엔코더 데이터 입력 방식을 사용하였다. 두 시스템을 완성하고 SCI통신을 양방향 통신을 함으로써 시스템을 통합하였다.

로봇팔은 D-H파라미터와 기하학적인 방법으로 순기구학과 역기구학을 구하여 시뮬레이션하였다. 이동로봇은 Omni-Wheel의 특징을 극대화 한 조향 없는 이동과 제자리 회전, 상하좌우 이동을 조이스틱으로 제어하는 실험을 수행하였다.

## II 모바일 매니플레이터

### 1. 시뮬레이션

3축 로봇팔의 기구학과 역기구학을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 식(1)은 순기구학을 나타낸다.

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & c_1s_{23} & -s_1 & c_1(L_2c_2 + L_3c_{23}) \\ s_1c_{23} & s_1s_{23} & c_1 & s_1(L_2c_2 + L_3c_{23}) \\ s_{23} & -c_{23} & 0 & L_1 + L_2s_2 + L_3s_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

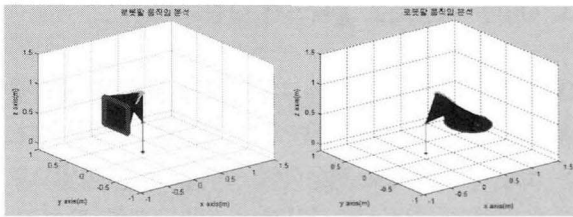
역기구학은 다음과 같다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right)$$

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{d^2 + L_2^2 - L_3^2}{2L_2d}, \sin \alpha = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \\ a = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}\right), b = \tan^{-1}\left(\frac{P_z - L_1}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}}\right) \\ \theta_2 = a + b \end{cases}$$

$$\begin{cases} \cos \phi = \frac{L_2^2 + L_3^2 - d^2}{2L_2L_3}, \text{ for } d = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + (P_z - L_1)^2} \\ \cos \theta_3 = \frac{d^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}, \sin \theta_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_3} \\ \theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \theta_3}{\cos \theta_3}\right) \end{cases} \quad (2)$$

구한 순기학과 역기구학을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.



(a) 사각경로 (b) 원경로  
그림 1. 움직임 시뮬레이션

전방향 이동로봇의 기구학은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (\text{Wheel1} : 0^\circ) \quad V_{w1} &= V_b \cos \phi + R\dot{\psi} \\ (\text{Wheel2} : 120^\circ) \quad V_{w2} &= V_b \left(-\frac{1}{2} \cos \phi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \phi\right) + R\dot{\psi} \\ (\text{Wheel3} : 240^\circ) \quad V_{w3} &= V_b \left(-\frac{1}{2} \cos \phi - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \phi\right) + R\dot{\psi} \end{aligned} \quad (3)$$

## 2. 전체시스템

그림 2는 3축 로봇팔과 전방향 이동로봇 시스템의 구성을 나타내고 있다. 3축 Manipulator는 경로가 입력된 대로 움직이는 반면 Omni-Directional Mobile System은 조이스틱을 이용하여 제어를 하는 조이스틱 모드와, 회전각과 이동거리를 입력으로 받아 움직일 수 있는 모드가 있다. 조이스틱의 데이터를 처리하여 이동로봇에 전송하는 것은 AVR(ATmega128)이 담당한다.

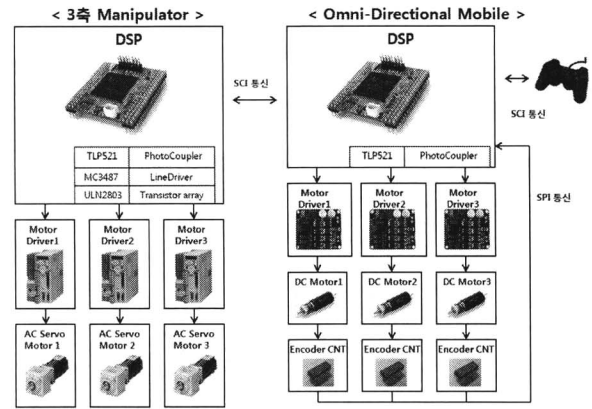


그림 2. 전체시스템구조

로봇팔을 제어하는 DSP에 여러 개의 경로 코드가 내장되어 있고, 이동로봇을 제어하는 DSP에는 회전각과 이동거리의 데이터를 받아 처리할 수 있도록 프로그래밍되어 있다.

## 3. 매니플레이터

3축 Manipulator는 AC 서보모터가 사용되었다. 3축 Manipulator의 드라이버 회로를 직접 설계하는 대신, AC모터 제어 펄스 및 모터에 관련된 정보를 일괄적으로 처리해주는 상용 드라이버 모듈인 CSD3를 사용하였다. 이 드라이버의 제어는 PC와 연결이 가능한 상용 상위 제어기 모듈을 이용하는 방법 대신에, 마이크로 프로세서 제어기를 제작하여 AC 서보 드라이버를 제어하였다.

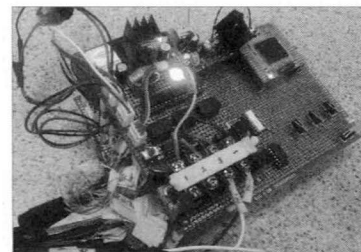


그림 3. 로봇팔 제어하드웨어

## III 실험 결과

### 1. 로봇팔 원경로 추종

Matlab으로 3축 Manipulator의 시뮬레이션과 역기구학 계산을 통해 얻은 Joint 각도 값에 관한 데이터를 바탕으로 실제 구동실험을 수행하였다. Matlab의 코드를 DSP에 프로그래밍하였다.

그림 4는 원 경로에 대한 동작을 수행하는 것을 보여주고 있다. 각각의 경로 동작 후 초기 위치로 정확히 돌아오는 것도 확인할 수 있었다.

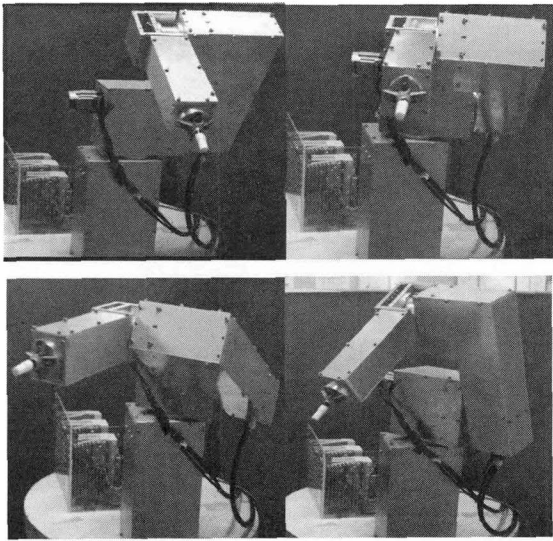
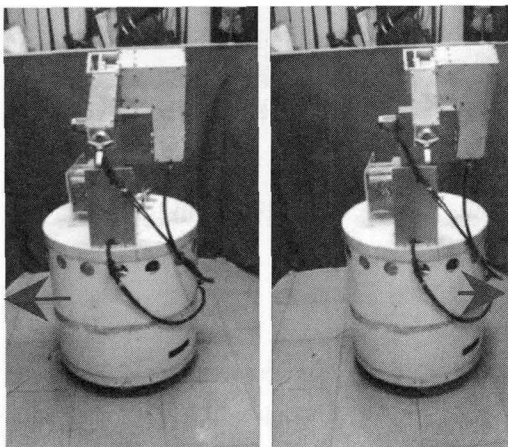


그림 4. 원경로 추종 실험

## 2. 전방향 이동로봇 이동실험

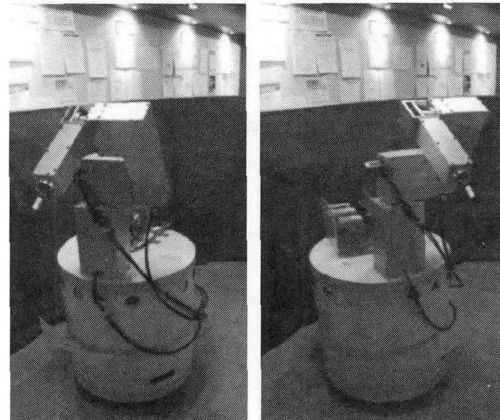
다음은 전방향 이동로봇의 움직임을 실험해 보았다. 전방향 이동로봇의 특징인 측면으로의 이동을 실험하였다.

그림 5(a)는 0도 방향으로 이동하고 있는 시스템의 모습이고, 그림 5(b)는 180도 방향으로 이동하고 있는 시스템의 모습이다. 시스템은 조이스틱으로 명령한 방향과 속도로 움직였다. 시스템의 방향은 Manipulator가 가리키는 방향이 앞 쪽이다. 시스템의 앞을 기준으로 좌표계를 생각하면 앞 방향이 90도 방향을 가리킴을 알 수 있다.



(a) 0도 방향 이동 (b) 180도 방향 이동  
그림 5. 전방향 이동로봇 이동 실험

다음 실험으로 좌우회전을 실험하였다. 그림 6은 회전실험을 보여준다.



(a) 우회전 (b) 좌회전  
그림 6. 전방향 이동로봇 회전실험

## 3. 전방향 이동로봇 글씨쓰기 실험

마지막으로 전방향 이동로봇기반의 모바일 매니퓰레이터의 장점을 살린 글씨쓰기 작업을 수행하였다. 이는 로봇이 측면으로 이동하며 글씨를 쓰는 작업으로 로봇의 위치제어 성능을 확인할 수 있다. 로봇 팔 끝의 힘제어는 고려하지 않고 위치제어만으로 ISEE란 글씨를 보드에 쓰도록 하였다. 그림 7은 실제 실험 상황을 나타낸다. 로봇이 우측으로 이동하여 글씨를 쓰고 있다. 마지막에 쓴 글씨를 보면 작업이 잘 수행되었음을 알 수 있다.



그림 7. 전방향 이동로봇 글씨쓰기 실험

## IV. 결론

본 논문에서는 기존의 모바일 매니퓰레이터를 재구성하여 로봇이 글씨를 쓰는 작업을 위해 제어해 보았다. 전 방향 이동이 가능한 Manipulator를

만들기 위해 Manipulator와 Mobile System을 제어할 수 있는 제어시스템을 각각 개발하고, 실험을 통해 검증해 보았다. 또한 두 시스템간의 상호통신을 이용한 통합으로 정밀성, 다양성, 공간 활용성을 특징으로 하는 로봇을 제작하였다. 로봇팔과 이동로봇의 움직임을 실험함으로써 각 부분의 동작을 검증할 수 있었다. 로봇이 글씨쓰기 작업을 수행함으로써 전방향 모바일 매니플레이터의 특성을 잘 나타내었다.

## 감사의 글

본 논문은 2012년 교육과학기술부 기초연구지원과 지식경제부의 융복합형 로봇전문인력 양성사업(NIPA-2012-H1502-12-1002)지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## V. 참고 문헌

- [1] H. Iwata, and S. Sugano, "Design of Human Symbiotic Robot TWENDY-ONE", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 580-586, 2009.
- [2] Y. G. Bae and S. Jung, "Design and Workspace Analysis of Korean Service Home Robot", *Journal of Korean Institute of Intelligent systems*, vol. 23, no.2, pp. 158-165, 2013
- [3] D. W. Kim, Y. Igor, E. S. Kang, and S. Jung, "Design and Control of an Omni-directional Cleaning Robot Based on Landmarks", *Journal of Korean Institute of Intelligent systems*, vol. 23, no.2, pp. 100-106, 2013
- [4] J. H. Lee and S. Jung, "An Experimental Study on Control and Development of an Omni-directional Mobile Robot", *Journal of Korean Institute of Intelligent systems*, vol. 24, no.4, pp. 412-417, 2014