

스마트팩토리를 위한 듀얼암을 갖는 모바일 로봇의 유연제어에 관한 연구

A Study on Flexible Control of Dual Arm-Mobile Robot for Smart Factory

이우송^{1*}, 하언태², 정양근³, 박인만⁴

Woo-Song Lee¹, Eun-Tha Ha², Yang-Keun Jeong³, In-Man Park⁴

〈Abstract〉

This study proposes a new approach to design of the robust control application of a mobile manipulator with dual-arm. The mobil manipulator robot system consists of 12 DOF manipulators and a mobile robot. Kinematics of the robotics has been analyzed and simulated to verify reliability. A position-based torque control technique is applied to the robot by adding an outer loop to interact with the environment. Experimental studies of torque control applications of robot arm and interaction with a user operator are conducted. Experimental results has been proved that the robot arm performed regulated to follow the desired reference.

Keywords :

Smart Factory, Kinematics, Mobile Manipulator, Flexible Control

1*정회원, 교신저자, (주)성산암데코 연구소장, 工博
(E-mail: elflws@hanmail.com)

2 정회원, 미래기술연구소

3 정회원, 신라정보기술(주)

4 정회원, (주)인템

1* Corresponding Author, Director, R&D,
SungSanamdeco Co., Ltd. Ph. D.

2 Future Technology Institute co., Ltd.

3 CEO, Sinla Information Technology co., Ltd.

4 CEO, Intem co., Ltd.

1. 서 론

최근에는 주어진 일만 되풀이하는 산업용 로봇 구조가 아닌, 가정에서 필요에 따라 일을 할 수 있는 가정 용 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 미국, 일본에서는 음식을 나르거나, 물을 컵에 따르는 로봇, Personal robots [1], 또는 음식을 만드는 로봇 Twendy-one을 소개하였다[2]

국내에서도 가정용 서비스로봇에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 하지만 가정용 서비스로봇을 구현하는 현실적인 부분에서는 보행보다는 바퀴구동의 서비스 로봇이 주가 된다. 이동성도 확보하고 무엇보다 안정적이기 때문이다. 이처럼 대부분의 서비스로봇은 이동로봇 기반에 로봇 팔을 장착한 모바일 매니플레이터 구조를 갖는다.

이동성보다는 양팔의 작업성이 중요하게 요구되므로 대 부분의 양팔 로봇의 작업은 영상을 기반으로 하는 정확한 위치제어기술 중심으로 구성되어 있다[5,6]. 하지만 위치제어 기술로는 작업의 한계가 있다. 예컨대 로봇이 문을 여는 작업도 위치제어 기술만으로는 어렵다. 위치제어기술에 더하여 요구되는 기술이 힘제어 기술이다. 가정에서 로봇이 하게 될 작업의 대부분은 대상체와 접촉을 이루기 때문이다. 대상체와 작업을 수행할 때도 정확한 위치제어 기반에 접촉 힘제어 기술이 함께 적용되어야 성공적으로 수행할 수 있다.

두 바퀴 구동의 이동 로봇위에 양팔 로봇을 제작하여 결합하였다. 두 바퀴로 움직이는 로봇은 좁은 공간에서의 움직임이 자유로운 장점이 있지만 항상 균형을 유지해야 한다[9].

본 논문에서는 이동로봇의 위치 및 속도의 이동과 양팔의 관절 위치제어를 수행하고 대상체와의 협력 제어를 수행한다.

힘 작용 방식은 로봇의 팔 끝에 힘 센서를 장착하고 그 힘을 모니터링 하면서 제어를 한다. 힘

제어 방식으로는 다양한 방식이 제안되었으나 [11-13] 본 논문에서는 위치기반 임피던스 힘제어 방식을 적용하였다. 인간과의 협조 제어를 위해 로봇 팔의 3축에 대한 힘제어를 수행한다.

위치기반의 임피던스 힘 제어는 외부의 힘의 변화량에 따라 위치를 제어하는 방법으로 기존의 시스템의 제어구조를 변경하지 않고 힘 제어를 구현할 수 있는 장점이 있다. 위치기반 힘제어 방식의 성능은 실험을 통하여 검증하였다.

2. 동적 모델링

로봇아암의 끝의 위치는 직교 공간에서 $Z = [xyz]^T$ 로 표현된다.

각 조인트는 $\theta = [\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \theta_5 \theta_6]^T$ 로 표현된다.

따라서 카테시안 공간 좌표와 조인트 공간 좌표 사이의 관계를 알 수 있는 역기구학이 필요하게 된다.[2]

만약 팔 끝 좌표 사와 회전 (n, s, a) 이 우선적으로 결정 되어 있다면 다음 식에 의해 사의 좌표가 구해지게 된다.[3]

$$\vec{P}_5 = \vec{P}_6 - d_6 \vec{a}$$

$$P_{5x} = -(C_1 C_2 S_3 + S_1 C_3) d_4 + S_1 d_2$$

$$P_{5y} = -(S_1 C_2 S_3 + C_1 C_3) d_4 - C_1 d_2$$

$$P_{5z} = -S_2 S_3 S_4$$

$$\text{단, } \vec{a} = [a_x \ a_y \ a_z]^T \text{이다.}$$

위의 식에

$$P_5^2 = P_{5x}^2 + P_{5y}^2 + P_{5z}^2 = 2d_2d_4C_3 + d_2^2 + d_4^2$$

여기서 $C_3 = \frac{P_5^2 - d_2^2 - d_4^2}{2d_2d_4} S_{3=\pm \sqrt{1-C_3^2}}$

$$\theta = atan(\pm \frac{\sqrt{1-C_3^2}}{C_3})$$

위 식을 이용하여

$$S_2 = -\frac{P_{5z}}{S_3d_4}, C_2 = \pm \sqrt{1-S_2^2}$$

$$\theta_2 = atan(\mp \frac{S_2}{\sqrt{1-S_2^2}})$$

다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P_{5x} = -(C_2S_3d_4 + S_1C_3)C_1 + (d_2 + C_3d_4)S_1$$

$$P_{5y} = -(C_3d_4 - d_2)C_1 + (C_2C_3d_4)S_1$$

위의 식에 Cramer 법칙을 적용하여 연립방정식을 풀면

$$\tan = \frac{S_1}{C_1} = \frac{\begin{vmatrix} -C_2S_3d_4 & P_{5x} \\ -C_3d_4 - d_2 & P_{5y} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} P_{5x} & d_2 + C_3d_4 \\ P_{5y} & -C_2S_3d_4 \end{vmatrix}}$$

$$= -\frac{P_{5x}(C_3d_4 + d_2) - P_{5y}(C_2S_3d_4)}{P_{5x}(C_2S_3d_4) + P_{5y}(d_2 + C_3d_4)}$$

$$\theta = atan(\frac{S_1}{C_1})$$

$\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 의 경우 아래의 식을 이용하면 간단하게 구할 수 있다.[4]

$${}^3T_6 = {}^0T_3^{-1} {}^{10}T_6$$

$$= \begin{bmatrix} C_4C_5C_6 - S_4S_6 & -C_4C_5C_6 - S_4C_6 & C_4S_5 & d_6C_4S_5 \\ C_4S_6 + S_4C_5C_6 & C_4C_6 - S_4C_5C_6 & S_4C_5 & d_6C_4S_5 \\ -S_5C_6 & S_5S_6 & C_5 & d_4 + d_6d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\theta_4 = atan(\frac{S_4S_5}{C_4S_5})$$

$$\theta_5 = atan(\pm \frac{\sqrt{1-C_5^2}}{C_5})$$

$$\theta_6 = atan(\frac{S_5S_6}{S_5S_6})$$

앞 절에서 구한 역기구학을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 그림 1에서는 먼저 순기구학을 *로 표시하고 역기구학 으로 구한 좌표를 선으로 표기하여 정기구학과 일치하는지를 확인하였다.

3. 제어기 설계

힘제어를 적용하기 전에 위치제어가 선행되어야 한다. Fig 1은 위치제어 블록도를 나타낸다. 조인트 토크는 위치 오차에 의해 생성되며, 제어기로는 PID 제어기를 사용한다.[5]

$$\tau(t) = K_p e(t) + K_1 \int e(t)dt + K_D e(t) \quad (1)$$

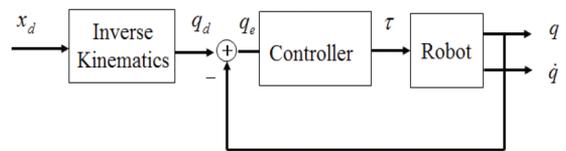


Fig. 1. Control block diagram in joint space.

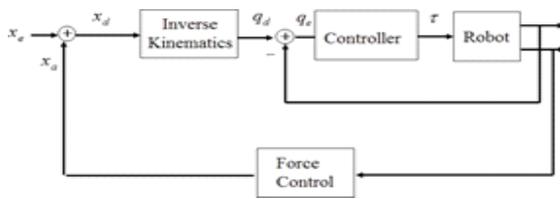


Fig. 2. Position-based force control block diagram.

여기서 오차 $e(t)=q_d(t)-q(t)$ 이고 K_p, K_I, K_D 는 PID 제어기의 이득값으로 각 행렬의 대각요소를 값으로 $K_p = 2.5, K_I = 0.4, K_D = 0.5$ 를 사용하였다.

Fig 2는 위치기반 힘제어 블록도를 나타낸 것이다. Fig 2의 위치제어 블록에 외부 힘제어 루프를 추가하여 기준 입력을 조절하는 구조이다. 이 구조의 장점으로 기존의 위치제어 블록을 수정하지 않고 외부에서 수정하여 힘 제어를 수행할 수 있다는 것이다.

힘제어의 영향을 받은 기준 경로는 다음과 같이 변경된다.

$$x_d = x_e + x_a \quad (2)$$

여기서 x_e 는 대상체의 위치를 나타내고 x_a 는 힘제어로 부터의 조절 변수이다.

그림 4에서 보면 외부 루프의 힘제어에서는 힘 오차 $f_e = f_c - f_d$ 를 피드백하게 된다. 센서값 f_c 와 목표 힘 f_d 의 차이 f_e 를 보상하기 위한 f_m 을 생성한다. 이 힘오차는 두 번의 적분을 통해 위치값으로 표현된다.[6]

$$x_a = \iint f_n dt dt = \iint \frac{f_c - f_d}{k_H} dt dt \quad (3)$$

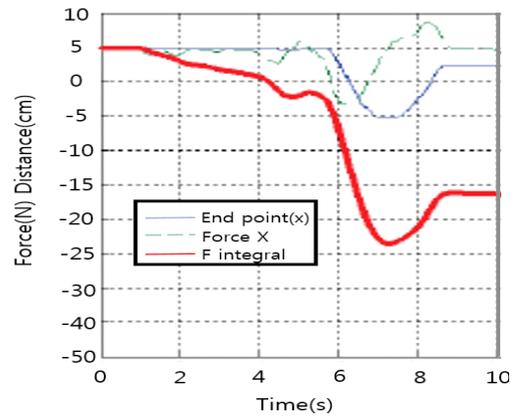
여기서 x_d 는 생성되는 경로이고 k_H 는 상수이다.

동역학의 모델링을 통해 위치기반 힘제어에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 카테시안 좌표와 조

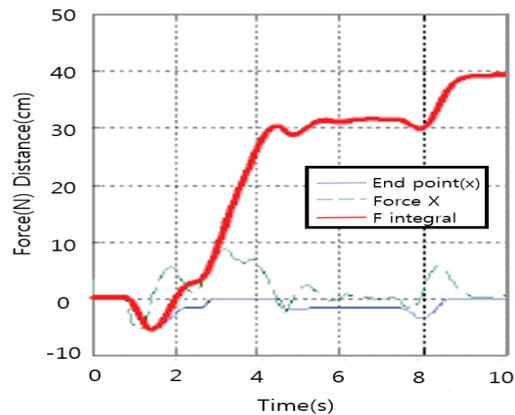
인트 값의 변환을 위한 역기구학이 사용되었으며, 로봇팔 끝 위치를 확인하기 위해서는 순기구학을 사용하였다.[4, 5]

3. 성능실험 및 고찰

힘 추종 실험을 위하여 힘 센서를 로봇 팔의 끝에 장착 하였으며, 로봇 팔 끝의 힘을 제어하기 위해 햅틱 장치를 사용함으로써 그림 4의 힘 피드백 시스템을 구현하였다.



(a) X axis.



(b) Y axis.

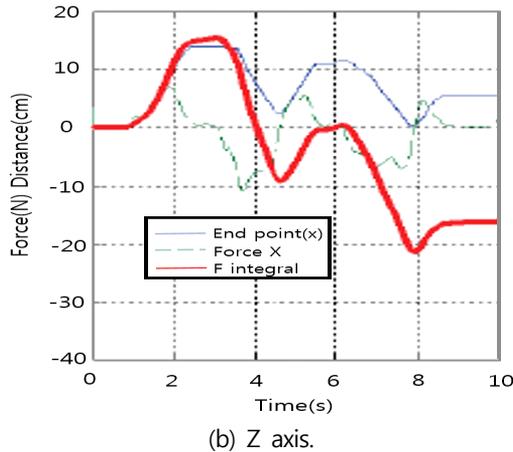


Fig. 3. Experimental figure with manipulator.

4. 맺음말

본 논문에서는 스마트팩토리의 구현을 위한 이동로봇의 기구학을 이용하여 이동로봇 모션의 정밀제어에 관한 연구를 수행 하였으며, 로봇 아암 및 구동장치를 제어하기 위해 순기구학과 역기구학을 분석하고 시뮬레이션을 수행하였다. 위치기반의 모션 제어를 구현함으로써 힘 센서와 로봇의 위치만을 이용한 간단한 피드백제어 방식을 로봇에 적용하였다. 무선통신기반 무인 원격제어 장치를 이용해 힘을 귀환을 받는 시스템을 구현하여 토크 제어를 구현함으로써 복잡한 공정의 생산지원의 응용의 가능성을 보였다.

참고문헌

- [1] M. Raibert and J. J. Craig, "Hybrid position and force control of manipulators," ASME Journal of Dynamics Systems, Measurement, and Control, pp. 126-133, 1981.
- [2] J. K. Ahn and S. Jung, "Implementation and control of an extendable and separable mobile robot manipulator for indoor service," Journal of Institute of Electronics Engineering, SC, no. 1, pp. 39-46, 2011.
- [3] H.-J. Lee and S. Jung, "Balancing control of a two wheeled mobile robot system," Journal of Institute of Electronics Engineering, SC, no. 6, pp. 468-474, 2011.
- [4] C. H. Park and K. T. Park, "Design and control of industrial dual arm robot," Korean Society of Precision Engineering, vol. 25, no. 11, pp. 58-65, 2008.
- [5] S. Jung and T. C. Hsia, "Neural network impedance force control of robot manipulator," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 45, no. 3, pp. 451-461, 1998.
- [6] Segway, "<http://segway.com>
- [7] H. W. Jeon and S. Jung "Implementation of an embedded system for an interaction between robot arm and human arm based on force control," Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems (in Korean), vol. 15, no. 11, pp. 1096-1101, 2009.
- [8] M. S. Choi, S. J. Lim, J. Y. Lee, C. S. Han, "Cooperative path planning for redundant dual-arm robot using low-dimensional

sampling-based algorithm,” International Federation of Automatic Control(IFAC), 2010.

- [9] R. J. Anderson and M. W. Spong, “Hybrid impedance control of robot manipulators,” Proc. of IEEE Conference on Robotics and Automations, pp. 549-556, 1988.

(접수:2016.05.12., 수정:2016.05.24., 게재확정:2016.06.08.)