

모바일 로봇을 위한 카메라 탑재 매니플레이터

이준우* · 조경근* · 조훈희* · 정성균** · 봉재환**

Manipulator with Camera for Mobile Robots

Jun-Woo Lee* · Kyoung-Geun Choe* · Hun-Hee Cho* · Seong-Kyun Jeong** · Jae-Hwan Bong**

요약

가정에서 사람을 보조하기 위해 이동과 작업이 모두 가능한 모바일 매니플레이터의 필요성이 커지고 있다. 본 논문에서는 크기가 작고 낮은 가격으로 구성할 수 있는 모바일 매니플레이터를 개발하기 위해 모바일 로봇에 탑재할 수 있는 소형 매니플레이터 시스템을 개발하였다. 개발한 매니플레이터는 4자유도를 가지며, 끝단에 그리퍼와 카메라를 부착하여 물체의 인식과 인식한 물체에 대한 작업 수행이 가능하다. 개발한 매니플레이터는 수직 방향의 선형 이동이 가능하여 상대적으로 높이 위치한 사람의 손에 물건을 전달하거나 협업을 수행하는 데 유리하다. 개발한 매니플레이터의 4자유도 동작을 위한 4개의 액추에이터를 매니플레이터의 베이스에 가깝게 배치하고 매니플레이터의 회전 관성을 줄임으로써 매니플레이터의 작업 중 안정성을 높이고 모바일 매니플레이터의 전복 위험을 낮추었다. 개발한 매니플레이터의 끝단에 위치한 카메라에서 RGB 영상을 획득하고 영상처리를 통해 물체를 인식하여 목표한 위치로 옮기는 픽 앤 플레이스 동작을 시험하였으며 로봇의 작업 영역(workspace) 내에서 성공적으로 동작함을 확인하였다.

ABSTRACT

Mobile manipulators are getting lime light in the field of home automation due to their mobility and manipulation capabilities. In this paper, we developed a small size manipulator system that can be mounted on a mobile robot as a preliminary study to develop a mobile manipulator. The developed manipulator has four degree-of-freedom. At the end-effector of manipulator, there are a camera and a gripper to recognize and manipulate the object. One of four degree-of-freedom is linear motion in vertical direction for better interaction with human hands which are located higher than the mobile manipulator. The developed manipulator was designed to dispose the four actuators close to the base of the manipulator to reduce rotational inertia of the manipulator, which improves stability of manipulation and reduces the risk of rollover. The developed manipulator repeatedly performed a pick and place task and successfully manipulate the object within the workspace of manipulator.

키워드

Image Processing, Mobile Manipulator, Pick and Place, Rotational Inertia, Vision-based Manipulation
영상 처리, 모바일 매니플레이터, 픽 앤 플레이스, 회전 관성, 영상 기반 매니플레이션

* 상명대학교 휴먼지능로봇공학과
(james2014479@gmail.com, whrdrms000@gmail.com, sw11972@naver.com)

** 교신저자 : 상명대학교 휴먼지능로봇공학과

• 접수일 : 2022. 05. 06
• 수정완료일 : 2022. 05. 27
• 게재확정일 : 2022. 06. 17

• Received : May. 06, 2022, Revised : May. 27, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022
• Corresponding Author : Seong-Kyun Jeong, Jae-Hwan Bong,
Dept. Human Intelligence Robot Engineering, Sangmyung University,
Email : skjeong@smu.ac.kr, drbong@smu.ac.kr

I. 서론

4차 산업 시대에 접어들며 서비스 로봇에 대한 대중의 관심과 시장 규모가 커지고 있다[1]. 서비스 로봇은 스마트 물류 창고나 음식점 등에 사용되는 전문 서비스 로봇과 가정에서 사람을 보조하는 가정용 서비스 로봇으로 분류된다. 전문 서비스 로봇과 가정용 서비스 로봇 모두 바닥에 고정되어 작업을 수행하던 기존의 로봇 매니플레이터(Manipulator)와 달리 작업과 이동이 모두 가능한 형태로 개발되어 필요한 위치로 이동하며 작업을 수행할 수 있어야 한다.

모바일 매니플레이터는 작업을 위한 매니플레이터와 이동을 위한 모바일 로봇이 결합된 형태로 최근 다양하게 연구되었다[2-3]. 모바일 매니플레이터는 물건 이송을 중요시한다. 물건 이송을 위한 자율주행 분야에서는 물건 이송 자율주행이 활발히 연구되고 있다[4-5]. 전문 서비스 로봇 분야에서는 카페나 음식점 등의 실내에서 모바일 매니플레이터로 음식을 소비자에게 전달하는 연구, 해양플랜트의 셀 블록 용접 작업을 모바일 매니플레이터가 수행하는 연구, 딥러닝 기반의 음성인식을 통해 물건을 특정 위치로 배달하는 모바일 매니플레이터에 대한 연구 등이 진행되었다[6-8]. 가정용 서비스 로봇에 대해서는 사람의 작업 피로를 줄여 주는 연구, 로봇 팔의 중력보상 연구, 심부름 수행을 위한 모바일 로봇 연구, 그리고 가정 공간에 맞게 소형화 및 경량화하는 로봇이 연구되었다[9-12].

본 연구에서는 소형 가정용 서비스 로봇 개발을 위한 사전 연구로써 모바일 로봇에 탑재할 수 있는 소형 매니플레이터를 개발하였다. 개발된 매니플레이터는 수직 방향의 선형 동작이 가능하여 사람에게 물건을 건네거나 협업을 해야 하는 경우 사람의 손 높이에 맞춰 매니플레이터의 높이를 조절할 수 있다. 또한 모바일 매니플레이터의 작업 중 안정성을 향상시키고 전복 등의 위험 상황 방지를 위해 매니플레이터의 회전 관성을 최소화하여 개발하였다.

2장에서는 매니플레이터의 설계, DH파라미터와 순기구학 풀이, 이미지를 이용한 제어 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 매니플레이터의 성능 평가를 위한 실험 환경과 실험 결과를 정리하였다. 마지막으로 4장에서는 결론과 함께 향후 연구 방향을 제시하였다.

II. 매니플레이터 시스템

모바일 로봇에 탑재하여 특정 물체를 인식하고 피킹(Picking)할 수 있는 매니플레이터 시스템을 개발하였다. <그림 1>은 개발한 매니플레이터 시스템의 개념도를 나타낸다. 개념도에서 모바일 로봇은 개념 설명을 위해 도시하였으며 본 연구에서는 모바일 로봇에 탑재하기 위한 소형 매니플레이터 시스템만 개발하였다.

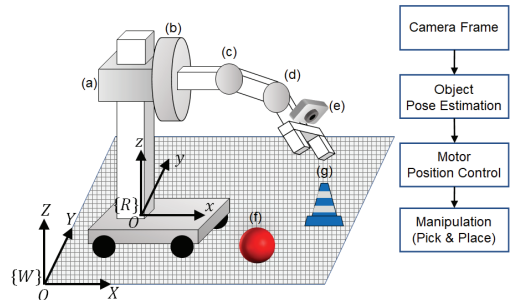


그림 1. 모바일 매니플레이터 시스템의 개념도
Fig. 1 Concept diagram of mobile manipulator system

월드 좌표계($\{W\}:O-XYZ$)의 3차원 공간에서 모바일 로봇은 XY 평면 이동을 통해 X축과 Y축에 대한 위치(Position)와 Z축에 대한 자세(Orientation) 변환을 할 수 있다. 모바일 로봇에 부착되는 매니플레이터는 <그림 1>에 (a), (b), (c), (d)로 표시된 4개의 관절을 가진다. <그림 1>의 (a)는 선형 변위를 갖는 프리즘 관절(Prismatic Joint)이고, <그림 1>의 (b), (c), (d)는 회전 변위를 갖는 회전 관절(Revolute Joint)이다. 매니플레이터의 말단 장치(End Effector)는 <그림 1>의 (a), (c), (d) 관절에 의해 로봇 좌표계($\{R\}:O-xyz$)의 xz 평면에서 3 자유도(Degree of Freedom) 위치/자세 제어가 가능하고, (b) 관절에 의해 로봇 좌표계의 x축과 평행한 (b) 관절의 관절 축에 대한 회전이 가능하다.

매니플레이터는 <그림 1>의 (f)로 표시된 빨간색 공을 피킹하여 <그림 1>의 (g)로 표시된 파란 고무 콘이 위치한 목표 지점으로 옮기도록 동작하였다. 물체의 피킹을 위해서 매니플레이터의 말단 장치는 집게형 그리퍼(Gripper)로 설계하였고 그리퍼에는 <그림 1>의 (e)와 같이 카메라를 부착하였다. 그리퍼에 부착한 카메라로 물체를 인식하고, 인식 결과를 이용

해 매니플레이터의 모터를 위치 제어하였다.

2.1 매니플레이터 설계

모터로 매니플레이터의 관절에 동력을 전달하기 위해 직접 구동 방식과 간접 동력 전달 방식을 선택하여 설계하였다. <그림 2>는 매니플레이터의 3차원 모델링을 나타내고, <그림 3>는 매니플레이터의 간략도를 나타낸다.

<그림 3>에 (a)로 표시된 첫 번째 프리즘 관절을 구동하기 위해서 큰 하중에 적합한 볼 스크류를 이용하였다. 볼 스크류는 <그림 2>의 (a) 모터에 직결하였다. 볼 스크류가 회전하면 부품 (b)가 상하로 선형 운동하면서 매니플레이터의 높이가 변화한다.

<그림 3>에 (b)로 표시된 두 번째 관절은 회전 관절로 <그림 2>의 (c) 모터와 직접 연결하였다. 두 번째 관절을 제외한 나머지 관절의 구동을 통해서 매니플레이터 끝단의 좌표축이 병진 운동하며, 두 번째 관절의 구동을 통해 매니플레이터 끝단의 좌표축이 회전 운동을 한다.

<그림 3>에 (c)로 표시된 세 번째로 위치한 회전 관절은 매니플레이터의 회전 관성을 줄이기 위해 <그림 2>의 (d) 위치에 모터를 두어 구동하였다. 회전 관성을 줄이기 위한 모터의 위치 선정으로 인해 모터 축과 관절 축 사이에 축간거리가 생겼으므로 간접 동력 전달 방식으로 관절을 구동하였다. 대표적인 간접 동력 전달 장치에는 체인과 벨트가 있다. 벨트 중에서 타이밍 벨트(Timing Belt)는 이빨(Tooth)이 있는 벨트로써 이빨이 있는 풀리(Pulley)와 맞물려 구동되며 일반 벨트보다 미끄러짐이 적다. 타이밍 벨트는 고무, 우레탄 등의 재질을 사용하므로 가볍고, 가격 측면에서 교체가 쉬우며, 소음이 적다. 또한, 이론상 backlash가 없으므로 매니플레이터 끝단에서 발생하는 위치 오차 문제를 완화한다. 이러한 타이밍 벨트와 풀리의 특징이 모바일 로봇에 탑재하기 위한 매니플레이터에 적합하여 세 번째 회전 관절의 구동을 위한 간접 동력 전달 방식으로 타이밍 벨트와 풀리를 사용하였다. <그림 2>에 (e)로 표시된 모터에 연결한 풀리와 <그림 2>에 (f)로 표시된 관절 축에 연결한 풀리의 직경 비를 1:2.75로 선택하였다. 두 풀리의 크기 비에 의해 모터의 회전 속도 대비 관절의 회전 속도는 느려지고, 모터의 토크 대비 관절의 토크는 증가하

였다. 두 풀리의 회전축을 평행하게 하고, 중심을 동일 직선상에 위치하게 하여 두 풀리를 타이밍 벨트로 연결하였다.

<그림 3>에 (d)로 표시된 네 번째 관절은 <그림 2>에 (g)로 표시된 모터로 구동되며 매니플레이터의 회전 관성을 줄이기 위해 세 번째 관절과 마찬가지로 두 개의 풀리를 타이밍 벨트로 연결하여 구동하였다.

매니플레이터의 끝단에서 그리퍼는 <그림 2>의 (h) 모터와 <그림 4>의 (a), (b), (c)로 표시된 단순 기어열(Simple Gear Train)로 구동된다. <그림 2>의 (h) 모터 축과 <그림 4>의 (a) 기어를 결합하였다. 복합 기어열에서 <그림 4>의 (a) 기어가 드라이버, <그림 4>의 (b)와 (c) 기어가 피동 기어로서 반대로 회전하며 그리퍼를 구동한다. <그림 4>의 (b)와 (c) 기어는 직경이 동일하고 <그림 4>의 (a) 기어의 직경보다 크게 선택하여 그리퍼의 잡는 힘을 높였다.

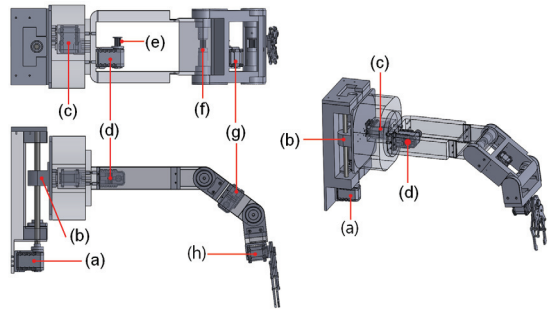


그림 2. 매니플레이터의 3차원 모델링
Fig. 2 Three dimensional modeling of manipulator

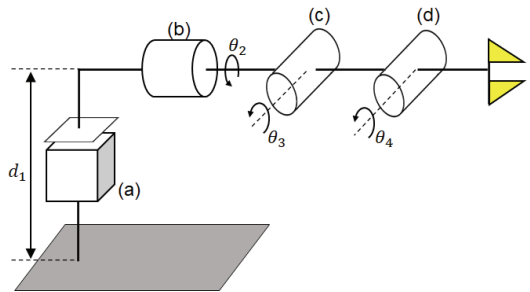


그림 3. 매니플레이터 간략도
Fig. 3 Kinematic diagram of manipulator

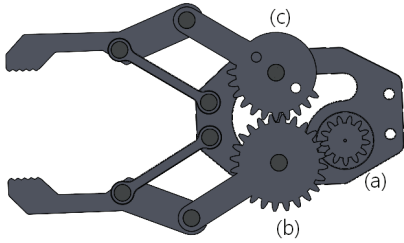


그림 4. 그리퍼의 3차원 모델링
Fig. 4 Three dimensional modeling of gripper

매니플레이터의 Denavit-Hartenberg(DH) 매개변수를 나타내면 <표 1>과 같다.

표 1. 매니플레이터의 DH 매개변수
Table 1. DH parameters of manipulator

| | a | α | d | θ |
|---|-----|-------------|-------|------------|
| 1 | 0 | -90° | d_1 | 0 |
| 2 | 22 | -90° | 0 | θ_2 |
| 3 | 11 | 0 | 0 | θ_3 |
| 4 | 12 | 0 | 0 | θ_4 |

<표 1>의 DH 매개변수를 활용해 매니플레이터의 순기구학(Forward Kinematics)을 풀이할 수 있다[13]. 관절 변수($d_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$)를 포함하는 동차변환행렬을 이용해 풀이한 순기구학의 결과는 식(1)과 같다.

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{21} & R_{31} & t_1 \\ R_{12} & R_{22} & R_{32} & t_2 \\ R_{13} & R_{23} & R_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R_{11} &= \cos\theta_2 \cos(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{12} &= -\sin(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{13} &= -\sin\theta_2 \cos(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{21} &= -\cos\theta_2 \sin(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{22} &= -\cos(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{23} &= \sin\theta_2 \sin(\theta_3 + \theta_4) \\ R_{31} &= -\sin\theta_2 \\ R_{32} &= 0 \\ R_{33} &= -\cos\theta_2 \\ t_1 &= \cos(12\cos(\theta_3 + \theta_4) + 11\cos\theta_3 + 22) \\ t_2 &= -\sin(\theta_3 + \theta_4) - 11\sin\theta_3 \\ t_3 &= \sin\theta_2(-12\sin(\theta_3 + \theta_4) - 11\cos\theta_3 - 22) + d_1 \end{aligned}$$

2.2 매니플레이터의 피킹 제어

매니플레이터의 끝단에 부착된 카메라에서 촬영한 영상 프레임에서 빨간 공과 파란 고무 콘의 위치를 측정하고 로봇 팔이 빨간 공을 피킹하여 파란 고무 콘이 위치한 곳에 빨간 공을 내려두도록 제어하였다.

카메라 영상 프레임에서 빨간 공과 파란 고무 콘의 위치를 측정하는 방법을 <그림 5>에 나타내었다. <그림 5>에서 카메라 영상 프레임의 좌표축을 {P}, 너비를 W , 높이를 H 로 표시했을 때, 빨간 공과 파란 고무 콘의 위치를 측정하기 위한 기준 좌표계 {C}의 원점은 좌표계 {P}를 기준으로 식(2)로 표현된다.

$$O_{C/P} = \left(\frac{W}{2}, H \right) \quad (2)$$

카메라 영상 프레임에서 좌표계 {C}를 기준으로 빨간 공의 x, y 좌표를 (B_x, B_y)로 표시하고 파란 고무 콘의 x, y 좌표를 (R_x, R_y)로 표시했을 때, 빨간 공과 파란 고무 콘의 위치를 나타내는 각도(θ_B 와 θ_R)와 거리(d_B 와 d_R)는 식(3), 식(4), 식(5), 식(6)으로 계산할 수 있다.

$$\theta_B = \left| 90 - \left| \text{atan2}(R_y, R_x) \frac{180}{\pi} \right| \right| \quad (3)$$

$$\theta_R = \left| 90 - \left| \text{atan2}(B_y, B_x) \frac{180}{\pi} \right| \right| \quad (4)$$

$$d_B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (5)$$

$$d_R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (6)$$

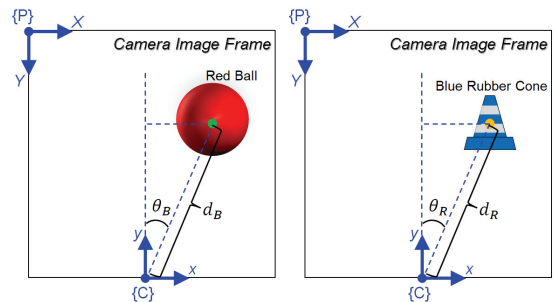


그림 5. 이미지 프레임에서 목표물의 위치 측정
Fig. 5 Estimation of object position in image

매니플레이터는 θ_B 가 -2° 초과 2° 미만의 범위에 포함될 때까지 움직여서 빨간 공을 탐색한다. 매니플레이터는 θ_B 가 범위 안에 포함되면 동작을 멈추고 d_B 를 측정

한다. 매니퓰레이터는 d_B 가 550 미만이 될 때까지 움직이고, d_B 가 550이 되는 순간 그리퍼로 빨간 공을 피킹할 수 있다고 판단하고 그리퍼로 빨간 공을 잡는다.

빨간 공을 잡은 매니퓰레이터는 θ_R 이 -2° 초과 2° 미만의 범위에 포함될 때까지 움직여서 파란 고무 콘을 탐색한다. 매니퓰레이터는 θ_R 이 범위 안에 포함되면 동작을 멈추고 d_R 을 측정한다. 매니퓰레이터는 d_R 의 값이 450이상 500미만이 될 때까지 움직이고, d_R 이 범위에 포함되면 목표 위치에 도달한 것으로 판단하고 그리퍼를 열어 빨간 공을 내려놓는다.

III. 실험 방법 및 결과

3.1 매니퓰레이터의 페이로드(Payload) 평가

매니퓰레이터가 그리퍼를 이용해 정해진 무게의 물체를 들어올리는 실험을 통해 페이로드를 평가하였다. 실험 과정에서 매니퓰레이터는 같은 무게의 물체를 20회씩 들어 올리도록 하였다. <표 2>에 표시한 성공률은 매니퓰레이터가 물체를 옮기는 실험에서 물건을 놓치지 않고 목표 위치로 옮기면 성공, 물건을 잡지 못하거나 옮기는 중에 떨어트리면 실패로 기록하여 성공 횟수를 전체 시도 횟수로 나누어 계산하였다. 매니퓰레이터가 같은 무게의 물체를 20회 들어 올린 이후에는 물체의 무게를 100g씩 증가시키며 실험을 반복하였다. 실험 결과는 <표 2>에 정리하였으며, 매니퓰레이터가 실패 없이 물체를 안정적으로 조작할 수 있는 최대 페이로드는 800g이었다.

표 2. 매니퓰레이터의 페이로드 실험 결과
Table 2. Results of experiment for manipulator payload

| Payload(g) | Success Rate(%) |
|------------|-----------------|
| 200 | 100 |
| 300 | 100 |
| 400 | 100 |
| 500 | 100 |
| 600 | 100 |
| 700 | 100 |
| 800 | 100 |
| 900 | 95 |
| 1000 | 90 |

3.2 매니퓰레이터 물체 조작 능력 평가

매니퓰레이터가 2.2절에서 설명한 방법으로 빨간색 공과 파란색 고무 콘을 인식하여 빨간색 공을 들어 올리고 파란색 고무 콘이 있는 위치까지 옮길 수 있는지 실험하였다. 빨간색 공과 파란색 고무 콘의 동일한 위치에 대해 매니퓰레이터가 다섯 번씩 빨간색 공을 파란색 고무 콘의 위치까지 옮겼으며, 빨간색 공과 파란색 고무 콘의 위치를 다섯 번 변경하며 총 25회 실험하였다. 실험에 사용된 빨간색 공과 파란색 고무 콘의 위치는 <그림 6>과 같이 좌표로 표시하였다.

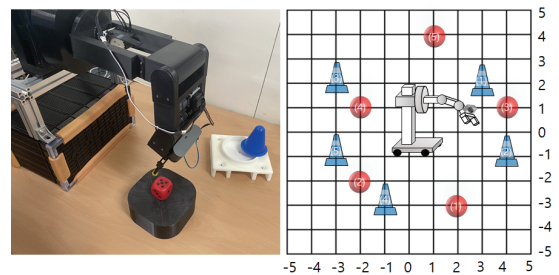


그림 6. 물체 조작 실험을 위한 환경
Fig. 6 Experimental setup of object manipulation

빨간색 공과 파란색 고무 콘의 각 위치에 대해 매니퓰레이터가 빨간색 공을 파란색 고무 콘의 위치까지 성공적으로 이동시킨 경우의 성공률을 계산하여 정리하면 <표 3>과 같다.

표 3. 물체 조작 실험 결과
Table 3. Experimental results of object manipulation

| Position | | | | Success Rate (%) |
|----------|-------|------------------|-------|------------------|
| Red Ball | | Blue Rubber Cone | | |
| X(cm) | Y(cm) | X(cm) | Y(cm) | |
| 2 | -3 | 3 | 2 | 95 |
| -2 | -2 | 4 | -1 | 90 |
| 4 | 1 | -3 | 2 | 85 |
| -2 | 1 | -1 | -3 | 95 |
| 1 | 4 | -3 | -2 | 90 |

IV. 결론

본 논문에서는 모바일 로봇에 탑재하기 위한 4자유도 매니퓰레이터 시스템을 개발하였다. 매니퓰레이터의 회전 관성을 낮추기 위해 일부 관절을 풀리와 타이밍벨트를 이용해 구동하였다. 매니퓰레이터의 그리퍼에는 카메라를 부착하여 물체 인식에 사용하였다. 카메라 영상 데이터를 이용해 물체를 인식하고 그리퍼로부터 물체까지의 상대 위치를 계산하였으며, 상대 위치 정보를 활용해 인식한 물체에 대한 조작을 수행하였다.

실험을 통해 개발한 매니퓰레이터의 페이로드와 물체 조작 성능을 확인하였으며, 페이로드는 800g으로 측정되었고 매니퓰레이터 시스템은 물체의 초기 위치와 관계없이 90% 이상의 성공률로 특정 물체를 목표 위치까지 이동시켰다.

개발한 매니퓰레이터는 모바일 로봇에 탑재하기 위해 작은 크기와 회전 관성을 갖도록 하였다. 매니퓰레이터의 말단 장치에 카메라를 부착하여 다양한 각도에서 물체의 영상 정보를 획득할 수 있다. 개발한 매니퓰레이터는 무거운 물체를 들어올리기에 적합한 볼스크류 방식을 적용해 높낮이를 조절 가능하며 모바일 로봇의 베이스 높이를 높일 필요 없이 높은 곳에 위치한 물체를 조작하거나 영상 정보를 획득하기 용이하다.

추가 연구를 통해 개발한 매니퓰레이터를 모바일 로봇 위에 탑재하고, 모바일 로봇을 이용한 지면에서의 2자유도 평행이동 및 1자유도 회전이동과 매니퓰레이터의 4자유도 동작을 통해 넓은 범위에 놓여 있는 물체를 탐색하고 조작할 수 있는 통합 시스템을 구성할 계획이다.

References

- [1] E. Hwang, "Artificial Intelligence Service Robot Market Trend," *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, Jeju, Korea, 2021, pp. 111-112.
- [2] J. Jang, M. Kim, S. Kim, C. Lee, and H. Park, "Remote Control of Movable Robot Arm using Gyro Sensor and Flex Sensor," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1205-1212.
- [3] T. Zahid, Z. Kausar, M. Shah, M. Saeed, and J. Pan, "Workspace Design and Trajectory Planning of a Five Degree of Freedom Mobile Welding Manipulator for Spherical Objects," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 73843-73856.
- [4] J. Shin, J. Yoo, J. Han, I. Hwang, and H. Park, "A Study on Basic Technology for Autonomous-Driving Using RC Car," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 1, 2022, pp. 49-58.
- [5] J. Kim and E. Kim, "Agricultural Autonomous Robots System for Automatic Transfer of Agricultural Harvests," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 749-754.
- [6] D. Ko, J. Lee, J. Kim, B. Park, and C. Lee, "Integration of Mobile Robot and Manipulator Using the ROS," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 29, no. 3, 2020, pp. 182-188.
- [7] E. Jung, K. Jeon, H. Chung, G. Chung, and M. Jin, "Development of a Mobile Manipulator for Welding Cell Blocks in Offshore Platforms," *Journal of Institute of Control*, vol. 26, no. 6, 2020, pp. 487-492.
- [8] D. Jang and S. Yoo, "Integrated System of Mobile Manipulator with Speech Recognition and Deep Learning-based Object Detection," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 270-275.
- [9] M. Fukushima, M. Hasunuma, D. Sekido, T. Ishikawa, H. Honda, and Y. Yamazaki, "Break Promotion by Desktop Working Agent to Reduce Fatigue in Remote Working from Smart House with Smart Robot," *2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics*, Kyoto, Japan, 2021, pp. 592-594.
- [10] H. Park, K. Ahn, J. Min, and J. Song, "5 DOF Home Robot Arm based on Counterbalance Mechanism," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 15, no. 1, 2020, pp. 48-54.
- [11] A. Kim, "Development of mobile robotics technology to perform errand services at

home," Master's Thesis, *Dong-A University Graduate School*, 2022.

- [12] M. Kim, T. Kang, D. Song, and S. Yi, "Development of a Small-Sized Intelligent Home Service Robot," *2021 18th International Conference on Ubiquitous Robots*, Gangwon-do, Korea, 2021, pp. 565-570.
- [13] R. Hartenberg and J. Denavit, *Kinematic synthesis of linkages*. New York: McGraw Hill Text, 1964.

저자 소개



이준우(Jun-Woo Lee)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼
지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Robotics, Robot Design, Artificial
Intelligence



조경근(Kyoung-Geun Cho)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼
지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Autonomous Driving, Computer
Vision, Robot Design



조훈희(Hun-Hee Cho)

2020년 ~현재 상명대학교 휴먼
지능봇공학과 재학

※ 관심분야 : Autonomous Driving, Computer
Vision, Artificial Intelligence



정성균(Seong-Kyun Jeong)

2003년 서울대학교 기계항공공학
부졸업(공학사)
2005년 서울대학교 기계항공공학
부졸업(공학석사)
2020년 한국과학기술원 항공우주
공학과 졸업(공학박사)

2005년 3월 ~ 2016년 2월 한국전자통신연구원 선
임연구원

2016년 4월 ~ 2020년 8월 과학기술정보통신부 사
무관

2020년 9월 ~ 현재 상명대학교 부교수

※ 관심분야 : Global Navigation Satellite System,
Flight Dynamics and Control



봉재환(Jae-Hwan Bong)

2012년 고려대학교 기계공학과
졸업(공학사)
2014년 고려대학교 대학원 기계
공학과 졸업(공학석사)
2020년 고려대학교 대학원 기계
공학과 졸업(공학박사)

2020년 3월 ~ 2020년 8월 RA, MPMI, University
of Southern Denmark

2020년 9월 ~현재 상명대학교 조교수

※ 관심분야 : Robotics, Human-Robot Interface,
Data-Driven Control, Machine Learning

