KIPS Trans. Softw. and Data Eng.
Vol.11, No.5 pp.221~228
ISSN: 2287-5905 (Print), ISSN: 2734-0503 (Online)

https://doi.org/10.3745/KTSDE.2022.11.5.221

Design of Robot Arm for Service Using Deep Learning and Sensors

Myeong Suk Pak† · Kyu Tae Kim†† · Mo Se Koo†† · Young Jun Ko†† · Sang Hoon Kim†††

ABSTRACT

With the application of artificial intelligence technology, robots can provide efficient services in real life. Unlike industrial manipulators that do simple repetitive work, this study presented design methods of 6 degree of freedom robot arm and intelligent object search and movement methods for use alone or in collaboration with no place restrictions in the service robot field and verified performance. Using a depth camera and deep learning in the ROS environment of the embedded board included in the robot arm, the robot arm detects objects and moves to the object area through inverse kinematics analysis. In addition, when contacting an object, it was possible to accurately hold and move the object through the analysis of the force sensor value. To verify the performance of the manufactured robot arm, experiments were conducted on accurate positioning of objects through deep learning and image processing, motor control, and object separation, and finally robot arm was tested to separate various cups commonly used in cafes to check whether they actually operate.

Keywords : Robot Arm, Deep Learning, Inverse Kinematics, Force Sensor

딥러닝과 센서를 이용한 서비스용 로봇 팔의 설계

박 명 숙† · 김 규 태†† · 구 모 세†† · 고 영 준†† · 김 상 훈†††

요 약

인공지능 기술의 적용으로 로봇이 실생활에서 효율성 높은 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 단순 반복적 작업을 하는 산업용 매니퓰레이터와 달리 서비스 로봇 분야에서 장소의 제약 없이 단독으로 또는 협업하여 사용하기 위한 6자유도 로봇 팔의 설계방법과 지능적인 물체 검출 및 이동 방법을 제시하고 성능을 검증하였다. 로봇 팔에 포함된 임베디드 보드의 ROS 환경에서 깊이 카메라와 딥러닝을 이용하여 로봇 팔은 물체를 검출하고, 역기구학 해석을 통해 물체 영역으로 이동한다. 또한 물체와 접촉 시 힘센서 값의 분석을 통해 물체를 정확히 잡고 이동하는 동작이 가능하게 하였다. 제작한 로봇 팔에 대한 성능검증을 위하여 딥러닝과 영상처리를 통한 물체의 정확한 위치 산출, 모터 제어 및 물체 분리에 대한 실험을 하였으며, 실제 동작 여부를 확인하기 위하여 카페에서 흔히 사용하는 다양한 컵들을 분리하는 실험을 수행하였다.

키워드 : 로봇 팔, 딥러닝, 역기구학, 힘센서

1. 서 론

산업용 로봇은 인간을 대신하여 반복적 수동 작업을 수행하거나 위험한 작업을 수행하며 고정 로봇, 울타리(fence)가 있는 로봇 및 모바일 매니퓰레이터(manipulator) 등의 형태가 있다[1]. 최근에는 기존의 산업용 로봇과는 다른 가벼운 몸체를 가지는 협동로봇(collaborative robot)과 CMIM (Collaborative Mobile Industrial Manipulator)이 협업, 이동성 및 유연성으로 인해 수요가 높다[1,2]. 로봇 기술이 빠르게 발전하고 있고 인공지능 기술을 함께 사용함으로써 높은 효율성으로 서비스를 제공할 수 있게 되었으며[3,4], 제조용, 산업용 로봇으로 인식되는 로봇 팔은 공장을 벗어나 대량 수확을 위한 농업용[5], 탐사용과 구조 작업용[6], 구난 및 물체 핸들링[7], 스포츠 로봇[8,9], 의료용 로봇[10] 등 다양한 분야에 사용하기 위해 개발되고 있다.

음료를 제공하기 위한 로봇 팔에 대한 연구도 제시되었다. [11]에서는 무인 커피숍에서 음료를 제공하는 2개의 6축 매니퓰레이터로 구성된 저가형 서비스 로봇을 개발했다. PC에서 영상처리와 역기구학을 수행하며, 광각 웹캠 2개를 이용하여 스테레오비전을 구성하여 물체의 위치를 파악하였다. [12]는 모바일 로봇과 매니퓰레이터를 결합하여 서비스 환경

※ 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1F1A1067496).
† 준 회 원 : 한경대학교 전기전자제어공학과 박사수료
†† 비 회 원 : 한경대학교 전기전자제어공학과 학사과정
††† 종신회원 : 한경대학교 ICT로봇기계공학부 교수
Manuscript Received : December 28, 2021
Accepted : January 29, 2022
* Corresponding Author : Sang Hoon Kim(kimsh@hknu.ac.kr)

※ This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/ licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에서 작업이 가능한 로봇을 개발하여 음료 배송 작업을 구현하였다. PC에서 SURF(speeded-up robust features) 알고리즘을 이용하여 물체의 일치 여부를 판단하고 역기구학 해석을 수행하여 목표지점에 도달한다. [13]에서는 장애인을 위한 음성 명령으로 로봇 팔을 제어하고 물 서빙을 수행하는 로봇 팔을 제안하였다. 영상 분할(segmentation) 딥러닝 기법과 카메라 내부 파라미터를 이용하여 대상의 3차원 좌표를 얻고, MoveIt을 이용하여 그리퍼의 위치 및 각도에 대한 경로를 계산한다. 또한 실생활에서 사용할 수 있는 서비스용 로봇의 기반연구로 6자유도의 로봇 팔이 개발되었다[14].

본 연구에서는 개발된 로봇팔의 플랫폼을 기초로 하여, 단독으로 또는 협업하여 다양한 장소에서 물체이동 작업을 수행할 수 있도록 임베디드 보드를 채택하고 3D 깊이(Depth) 카메라와 딥러닝 기법 등을 이용하여 자체적으로 물체 검출 및 역기구학 해석과 같은 지능적 처리가 가능한 환경을 구성하였다. 이동의 편의성과 비용 부담을 절감하기 위해 관절의 구조와 모터의 용량을 분석하여 선정하였고 센서 데이터를 분석하여 카페나 패스트푸드점에서 사용하는 음료컵을 자동 분리가 가능하게 하여 로봇 팔이 서비스 분야에 적용될 수 있는 구체적인 방법을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 로봇 팔의 하드웨어 구성 및 소프트웨어 환경을 소개하고, 3장에서 물체를 검출하여 이동 및 분리하는 방법을 설명한다. 4장에서는 로봇 팔의 실제 동작을 통하여 물체의 검출 및 위치 산출, 모터 제어, 컵의 분리 성능을 확인하고, 5장에서 결론을 제공한다.

2. 로봇 팔의 구조

2.1 하드웨어 구성

물체를 집어서 옮기는 작업을 하기 위해 본 연구에서 제안하는 6자유도 로봇 팔의 외형은 Fig. 1에 표시되어 있다. 가반하중은 1kg, 베이스(base)를 제외한 매니퓰레이터의 무게는 1kg이고 길이는 0.48m, 그리퍼(gripper)의 최대폭은 0.1m이다.

유연한 동작이 가능하고 작업공간에 비해 소형인 회전운동을 하는 수직다관절형 구조를 채택하고, 평행이동 그리퍼(parallel gripper)를 사용하여 그리퍼가 잡게 되는 물체에 평행하게 열리고 닫히도록 한다. 관절을 위한 6개의 서보모터, 물체 탐지를 위한 3D 깊이 카메라, 물체를 잡기 위한 힘 센서(force sensor), 충돌방지를 위한 2개의 초음파 센서로 구성되고 베이스에 임베디드 보드, MCU와 배터리를 포함하고 있으며, Fig. 2는 시스템 구성도를 보여준다.

2.2 모터 선정

로봇 팔은 물체를 집어 옮기기 위해 그리퍼를 포함하여 6자유도를 가지고 있으며, 관절에 사용되는 모터를 선택하기 위해 토크(torque) 계산이 필요하며 계산은 [15]의 방법을 이용한다.

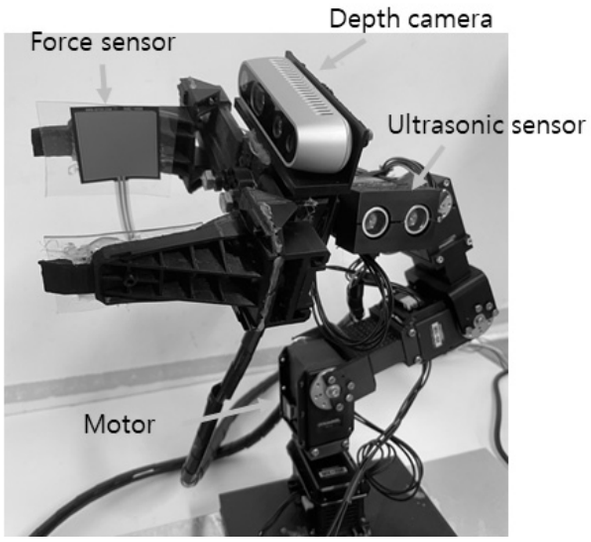


Fig. 1. Configuration of the Robotic Arm

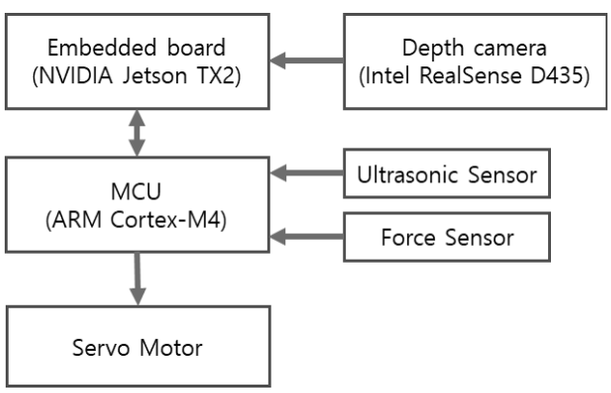


Fig. 2. Block Diagram of Proposed System

Table 1. Joint Parameters

Joint	b_i (m)	d_i (m)	m_i (m)
1	0.460	0.200	1.335
2	0.397	0.120	1.189
3	0.290	0.090	1.043
4	0.206	0.071	0.849
5	0.144	0.087	0.632
6	0.100	0.092	0.579

링크의 직경 a_i는 0.051m로 모두 동일하고, 링크의 길이 b_i, 회전중심과 질량중심 거리 d_i와 회전하는 링크의 무게 m_i는 Table 1과 같다. 총 구동 시간은 10s, 가감속 시간은 0.15s, 마찰저항 토크 T_f는 $0.5N{\cdot}m$, 가반하중은 0.5kg으로 한다. θ_i는 회전축을 중심으로 동작하는 각 변위를 나타내며

Table 2. Torque Values of Joints

Joint	T_{total} (N·m)	T_{safety} (N·m)	Stall Torque (N·m)
1	3.932	7.864	8.4
2	2.463	4.926	6
3	1.923	3.846	6
4	1.606	3.212	4.1
5	1.551	3.102	4.1
6	1.533	3.066	4.1

1축은 360°회전하고 나머지는 ±90°회전한다.

구동에 필요한 토크 $T_{\max}$는 다음과 같고

$$T_{\max} = T_{\alpha+} + T_f \tag{1}$$

여기서 $T_{\alpha+}$는 가속에 필요한 토크로 관성력에 의한 토크와 마찰저항 토크 T_f의 합이다. 무게로 발생하는 부하토크 T_{wmax}는 다음과 같다.

$$T_{wmax} = m_i g \times d_i \times \sin\theta_i \tag{2}$$

각 축의 최대 토크 T_{total}는 Equation (3)과 같이 앞의 두 토크를 합하여 구한다.

$$T_{total} = T_{\max} + T_{wmax} \tag{3}$$

안전계수(safety factor)는 2로 하며 위 식으로 구한 최대 토크와 안전계수를 곱한 값 이상의 토크를 가진 모터를 선정한다. 계산 결과는 Table 2의 첫 번째와 두 번째 열과 같고, 마지막 열은 선택한 모터의 스톨(stall) 토크를 보여준다. 계산 결과에 따라 Fig. 3에 표시된 바와 같이 첫 번째 관절에 토크가 가장 큰 모터를, 두 번째와 세 번째 모터를 같은 용량의 모터로 하고, 나머지 모터를 같은 용량의 모터로 선택한다.

2.3 소프트웨어 환경

로봇 팔의 베이스에 장착된 NVIDIA Jetson TX2의 Ubuntu 16.04와 ROS(Robot Operating System) Kinetic 환경에서 딥러닝을 이용한 객체검출과 MoveIt[16]을 이용한 역기구학 해석의 기능을 수행하며, Gazebo[17]와 RViz(ROS Visualization Tool)를 이용하여 시뮬레이션과 3D 시각화 작업을 한다. 직렬통신으로 Cortex-M4를 연결하여 각 모터를 제어하도록 하며 센서정보를 받아 동작을 결정한다.

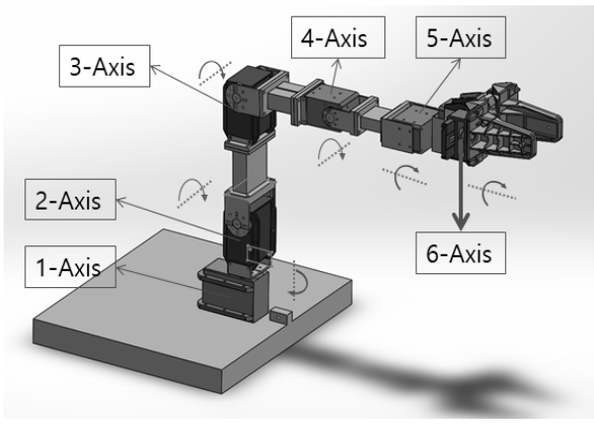


Fig. 3. Joint Configuration

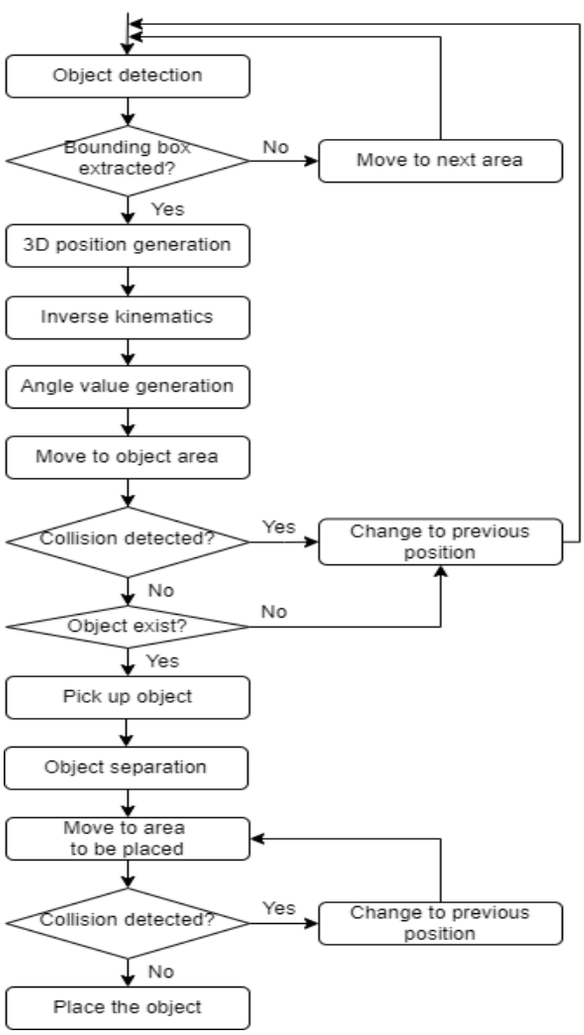


Fig. 4. Object Separation Flowchart

3. 물체 검출 및 이동 방법

이 장에서는 로봇 팔이 물체를 이동시키는 기능을 서비스 분야 중 카페나 패스트푸드점에 적용하기 위해 음료컵을 작

```
header:
  seq: 59
  stamp:
    secs: 1636465481
    nsecs: 534898512
  frame_id: "camera_link"
bounding_boxes:
  -
    Class: "cup"
    probability: 0.944359958172
    xmin: 0.316000014544
    ymin: -0.158320426941
    xmax: 0.441000014544
    ymax: -0.0372898839414
    zmin: -0.140457451344
    zmax: 0.00953331775963
```

Fig. 5. Output of Darknet_ros_3d

업영역 안에서 탐지하여 지정된 곳으로 이동시키기 위한 방법을 제시한다. 전체 동작 흐름도를 Fig. 4에 나타내었다.

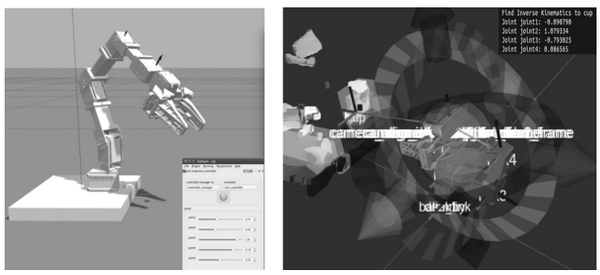
3.1 딥러닝 기법을 이용한 관심 물체의 위치지정

물체를 집기위해 깊이 카메라와 딥러닝 기법을 이용하여 물체검출을 수행한다. 실시간 객체 검출이 가능한 YOLOv3 [18]를 이용하여 관심 물체를 검출하며, 임베디드 환경에서 사용하기 위해 tiny 버전으로 COCO dataset에서 훈련된 가중치[19]를 사용한다. 로봇 팔이 물체에 접근하기 위해서는 물체의 2D 위치 정보 외에 물체까지의 거리가 필요하다. 이를 위해 ROS에서 YOLO를 사용할 수 있도록 해주는 패키지인 darknet_ros[20]와 깊이 카메라를 사용하여 객체의 3D 경계상자를 제공하는 darknet_ros_3d[21]를 이용한다. darknet_ros_3d가 제공하는 3D 경계상자 정보는 객체이름, 확실성 확률, 왼쪽 상단 가로좌표, 오른쪽 하단 가로좌표, 왼쪽 상단 세로좌표, 오른쪽 하단 세로좌표, 가장 가까운 픽셀의 좌표, 가장 먼 픽셀의 좌표이고 단위는 미터이다. Fig. 5는 darknet_ros_3d의 출력 예를 보여준다.

관심물체를 검출하지 못한 경우 로봇 팔의 자세를 변경하여 다음 영역으로 이동하여 물체 검출을 다시 수행한다. 도출된 3D 경계상자 중에 관심 물체에 대해 작업 영역 안에 있는 대상의 정보를 가지고 로봇 팔에 목표지점을 지정하기 위해서 물체의 가로, 세로의 중심을 계산하고 로봇 팔과 가장 가까운 깊이 값을 조합하여 하나의 좌표로 생성한다.

3.2 MoveIt을 이용한 역기구학 해석

물체가 있는 위치로 이동하기 위해서는 각각의 관절의 자세, 즉 모터의 각도를 알아야한다. 역기구학을 통해 이를 해결할 수 있으며, MoveIt의 KDL(Kinematics and Dynamics Library)과 OMPL(The Open Motion Planning Library)을 활용하여 역기구학 해석을 수행하고 경로를 생성하는 과정을 시각적으로 표현할 수 있다.



(a)Simulation in Gazebo (b)Inverse kinematics with MoveIt

Fig. 6. Robot Analysis

로봇 정보는 URDF(Unified Robot Description Format) 파일로 작성하여 사용하며 Gazebo 시뮬레이션 환경에서 작업 반경과 각 축의 한계 각도를 설정하여 실제 로봇 제작 전 검증한다. Fig. 6A는 Gazebo 환경에서 URDF 파일을 기반으로 로봇 팔을 표현하고 시뮬레이션하는 것이고 Fig. 6B는 MoveIt과 연결하여 역기구학 해석을 통해 관절의 각도를 구하는 것을 시각화한 것이다. MoveIt C++ API인 Robot Model and State를 이용해 대상 물체의 중심점을 목표지점으로 설정하고 역기구학 해석을 통한 각각의 Joint 값을 도출한다. 구해진 각도 값은 MCU로 전달되며 모터를 제어하여 로봇 팔의 자세를 변경하도록 한다.

3.3 물체 집기와 분리

그리퍼를 이용해 물체를 집을 때 물체와 접촉했는지를 감지하고 그리퍼의 너비를 조절하기 위해 힘센서를 이용한다. FSR(Force Sensing Resistor)은 표면에 가해지는 힘이 증가하면 저항이 감소하는 고분자 후막(polymer thick film) 장치이다. 비용이 저렴하고 사용하기 쉬워 정밀한 측정이 요구되지 않는 음료컵 수거에 적용이 가능하며, 활성영역이 38.1mm x 38.1mm인 제품을 그리퍼 안쪽에 부착하여 사용한다. 힘-전압(force-to-voltage) 변환회로를 구성하고 MCU에서 12비트 ADC(Analoge Digital Converter)를 사용하여 센서 값을 획득하며, 힘이 증가하면 전압이 증가한다.

힘센서를 부착한 그리퍼로 물체를 집었을 때, 관심 물체인 종이컵, 플라스틱 컵, 알루미늄 캔의 경우 재질이 다르기 때문에 각각 센서 값의 구간이 다르다. 실험을 통해 구간을 구한 후 구간에 따라 물체를 분리하여 사전에 정해진 위치로 이동하여 물체를 놓는다. 딥러닝 기법으로 관심 물체를 찾고 각각의 물체의 센서 값 구간을 이용하여 분리하는 과정은 Fig. 7과 같다.

3.4 충돌방지 및 안전 처리

로봇 팔이 작업을 할 때 사람과의 충돌을 방지하기 위해서 가장 넓은 범위를 움직이는 그리퍼에 근접한 지점의 좌우에 초음파센서를 부착한다. 물체 검출 후 물체의 위치로 자세변

```
Initialize object to NONE
If 'cup' or 'bottle' is detected Then
    Call moveGripper
    Input force
    If force >= PLASTICLOW and force < PLASTICHIGH Then
        Set object To PLASTIC
    ElseIf force >= CANLOW and force < CANHIGH Then
        Set object To CAN
    ElseIf force >= PAPERLOW and force < PAPERHIGH Then
        Set object To PAPER
    Endif
Endif
Call moveRobotarm
```

Fig. 7. Object Separation Pseudo Code

경 중에 초음파센서를 통해 로봇 팔 양옆에 장애물이 근접하면 동작을 멈추고 이전 위치로 돌아가도록 한다. 물체를 잡고 지정된 위치로 이동할 때 장애물이 감지되면 이전 위치로 변경 후 지정된 위치에 물체를 놓는 작업을 다시 수행한다. 또한 물체를 검출하고 물체위치로 이동하였으나 물체가 치워졌을 경우 초기자세로 돌아가 작업을 다시 진행하도록 하여, 서비스 제공시 안전하고 유연한 처리가 가능하도록 한다.

4. 실험 결과

제작한 로봇 팔의 성능 및 활용성을 검증하기 위해 음료컵을 집어서 지정된 곳으로 이동시키는 실험을 하였다. 로봇 팔이 준비상태가 되면 단독으로 작업영역에서 물체를 탐색하여 작업을 수행하며, Fig. 8은 카페의 음료컵 수거대에서 컵을 옮기는 동작을 보여준다.

Fig. 9는 이동시킬 물체를 찾아 물체의 중심을 계산하여 로봇 팔이 움직이기 위한 정보를 산출한 것을 보여준다. 첫 번째 행은 로봇 팔의 카메라로 촬영한 영상과 RViz로 시각화한 3D화면이고, 두 번째 행은 YOLOv3로 찾은 컵의 영역(왼쪽)을 darknet_ros_3d를 이용하여 3D 경계상자로 도출(오른쪽)한 것을 나타낸다. 관심 물체는 'cup'과 'bottle'로 지정하여 카페나 페스트푸드점에서 주로 볼 수 있는 물체를 검출하도록 하였다. 마지막 행은 3D 경계상자를 이용하여 로봇 팔에 부착된 카메라를 기준으로 물체의 중심과 물체까지의 거리를 계산한 결과를 m단위로 나타낸다.

목표 지점이 정해진 후 역기구학 해석을 통해 각각의 관절의 각도 값을 구하고 모터 제어를 수행한 결과는 Table 3에 나타내었다. 첫 번째 열은 MoveIt을 통해 얻은 라디안(radian) 값을 기준점을 맞춰 각도 값으로 변환한 것이고 두 번째 열은

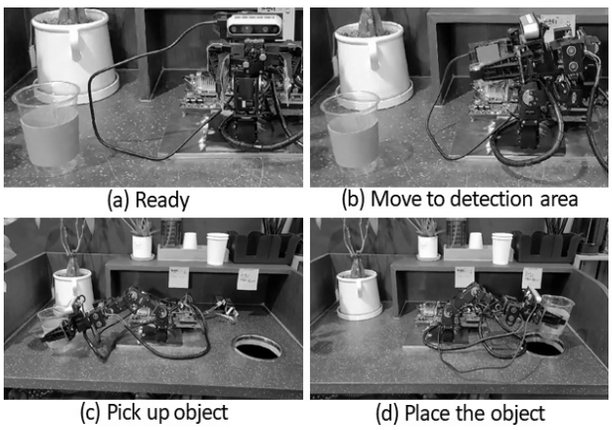


Fig. 8. Operation of Developed Robot Arm

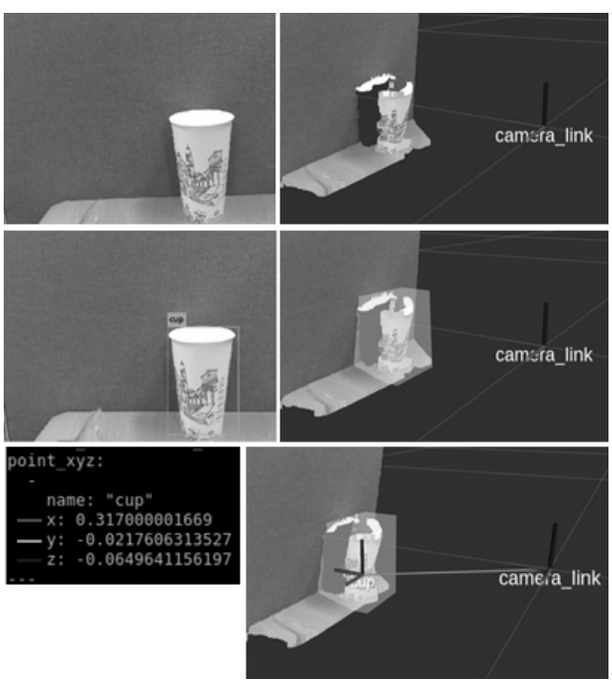


Fig. 9. Object Position Detection Result

Table 3. Result of Angle Control

Calculated angle (°)	Moved angle (°)	Error (°)
141.68	141.71	0.03
136.81	137.05	0.24
177.25	177.41	0.16
180.06	180.04	0.02

실제로 모터가 움직인 각도를 나타낸다. 큰 오차 없이 로봇 팔의 자세를 대상 물체를 잡을 수 있는 자세로 움직이는 것을 확인하였다.

물체를 집기 위해 그리퍼와 물체가 접촉했을 때 감지되는

Fig. 10. Object Samples

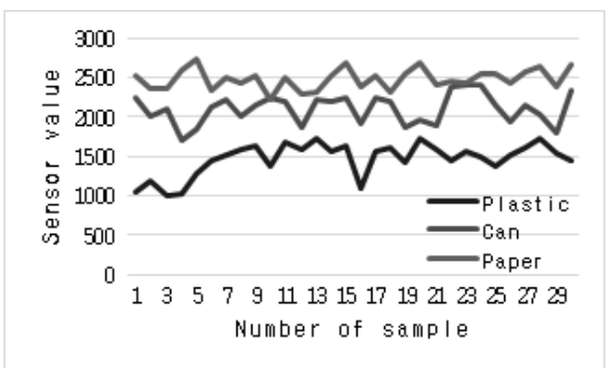


Fig. 11. Force Sensor Data for Each Object

Table 4. Object Separation Performance

Weight (g)	Success rate (%)		
	Plastic cup	Aluminum can	Paper cup
+0	92	84	92
50	100	84	88
100	100	84	100
200	88	88	96
Average	95.00	85.00	94.00

힘을 플라스틱 컵, 알루미늄 캔, 종이컵을 대상으로 측정하였으며, Fig. 10은 측정에 사용한 물체의 샘플을 보여준다. 최대 너비가 7.6cm를 넘지 않기 때문에 그리퍼의 최대 너비로 물체를 집는 데 어려움이 없었다. 플라스틱 컵, 알루미늄 캔, 종이컵 순으로 힘이 크게 측정되어 관심 물체를 분리하기 위한 물체별 힘의 구간을 얻을 수 있었으며 Fig. 11에 센서 데이터를 나타내었다. 세로축의 센서 값은 힘-전압 변환회로를 통해 얻은 전압의 디지털 값으로 힘의 크기를 나타낸다.

각 물체를 분리하는 성능은 Table 4에 나타내었다. 내용물이 없는 경우(+0)를 포함하여 내용물이 증가하는 경우 물체마다 각각 50회씩 실험한 결과이며, 흔히 사용하는 플라스틱 컵과 종이컵은 평균 90% 이상으로 높은 성공률을 보였다. 알루미늄 캔의 경우 종이컵과 겹치는 구간에서 사용빈도가 높은 종이컵에 비중을 더 주었기 때문에 다른 두 가지 대상 물체보다 성능이 더 낮지만 평균 85%로 분리가능성을 보였다.

실험결과는 제안하는 로봇 팔 단독으로 PC에 연결하지 않고 자체 시스템으로 작동하면서, 유사 연구[11-13]와 같이 물체 이동 작업이 가능하고 부가적으로 물체 분리 기능을 수행하여 효율성을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 서비스 로봇 분야에서 장소의 제약 없이 사용하기 위해 임의의 영역에 있는 물체를 지정된 위치로 이동시키는 6자유도 로봇 팔을 개발하였다. ROS 환경에서 깊이 카메라와 딥러닝을 이용하여 물체를 검출하고, 역기구학 해석을 통해 물체 영역으로 로봇 팔이 접근하도록 하였으며, 힘 센서를 이용하여 잡은 물체의 재질에 따른 분리가 가능하게 하였다. 사전에 정해진 위치의 물체를 단순 반복적으로 이동시키는 산업용 매니퓰레이터와 달리 지능적인 물체 검출과 분리를 수행하여 카페나 패스트푸드점에서 사용하는 구체적인 방법을 제시하였다. 제작한 로봇 팔에 대한 실험을 통해 딥러닝을 이용한 물체의 정확한 위치 산출 및 모터 제어 결과를 확인하였고 카페에서 흔히 사용하는 컵들을 분리하는 실험에서 플라스틱 컵과 종이컵에 대해 90% 이상의 높은 성공률을 얻어 서비스용 로봇 팔의 활용가능성을 보여주었다.

상대적으로 낮은 성능을 보여준 캔을 포함하여 물체의 분리 성능 향상 및 대상 물체의 추가를 위해 힘센서의 수를 늘리거나 접촉 영역을 나누어 측정 가능한 센서를 이용한 실험이 필요하며, 제안한 로봇 팔은 자체에 임베디드 환경이 구축되어 복잡한 설치과정 없이 다양한 장소에 옮겨 사용할 수 있기 때문에 그리퍼의 자유도 추가 등과 같은 기능 개선과 인간 친화적인 디자인 적용을 통해 단독으로 또는 이동 로봇과 결합하여 서비스를 제공하는 것을 기대한다.

References

[1] M. Yang, E. Yang, R. C. Zante, M. Post, and X. Liu, “Collaborative mobile industrial manipulator: A review of system architecture and applications,” In *2019 25th International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, IEEE, pp.1-6, 2019.

[2] S. U. Jeon and B. J. Jeong, “Collaborative robot trends,” in *Proceedings of Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.68, No.1, pp.22-26, 2019.

[3] Korea Institute for Robot Industry Advancement, “Robot Industry Policy and Trend,” Sep. 2021.

[4] D. Belanche, L. V. Casalo, C. Flavian, and J. Schepers, “Service robot implementation: A theoretical framework and research agenda,” *The Service Industries Journal*, Vol.40, No.3-4, pp.203-225, 2020.

[5] A. Roshanianfard and N. Noguchi, "Development of a 5DOF robotic arm (RAVebots-1) applied to heavy products harvesting," *IFAC-PapersOnLine*, Vol.49, No.16, pp.155-160, 2016.

[6] J. I. Kang, H. S. Choi, B. H. Jun, D. H. Ji, J. Y. Oh, and J. Y. Kim, "Design and control of robot arm for inspection and rescue operations," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.22, No.11, pp.888-894, 2016.

[7] H. Kim, D. Park, T. Choi, H. Do, J. Kyung, and C. Park, "Design of high payload dual arm robot with replaceable forearm module for multiple tasks: Human rescue and object handling," *The Journal of Korea Robotics Society*, Vol.12, No.4, pp.441-447, 2017.

[8] J. S. Yoon, C. H. Kwak, Y. H. Kim W. H. Kim, and S. H. Ok, "Implementation of a table tennis robot using monocular camera-based 3D object recognition method and path planning for 6-Axis manipulator," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.16, No.8, pp.35-44, 2018.

[9] S. Mori, K. Tanaka, S. Nishikawa, R. Niiyama, and Y. Kuniyoshi, "High-speed and lightweight humanoid robot arm for a skillful badminton robot," *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol.3, No.3, pp.1727-1734, 2018.

[10] W. Wang, P. Wang, Y. Zhao, Y. Zhu and J. Zhao, "Kinematics and workspace analysis of a robotic arm for medical delivery robots," *In E3S Web of Conferences*, Vol.257, EDP Sciences, 2021.

[11] K. Lee, S. Naa, J. Park, K. Ann, and C. Lee, "Development of a dual-arm service robot using stereo vision and 6-Axis manipulators," *The Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.27, No.3, pp.271-277, 2018.

[12] D. Ko, J. Lee, J. Kim, B. Park, and C. Lee, "Integration of mobile robot and manipulator using the ROS," *The Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.29, No.3, pp.182-188, 2020.

[13] Y. Chunxin, S. Chumkamon, and E. Hayashi, "Robot assisting water serving to disabilities by voice control," In *Proceedings of International Conference on Artificial Life & Robotics,* Vol.26, pp.457-460, 2021.

[14] K. T. Kim, M. S. Koo, Y. J. Ko, M. S. Park, and S. H. Kim, "The design of 6-axis robot arm with intelligent object detection and object movement function," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Nov. 04, pp.417-420, 2021.

[15] J. H. Ha, Y. D. Joo, D. H. Kim, J. Y. Kim, and H. S. Choi, "A study on design, experiment control of the waterproof robot arm," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.38, No.6, pp.648-657, 2014.

[16] I. Sucan and S. Chitta, MoveIt, [Internet], https://moveit.ros.org/.

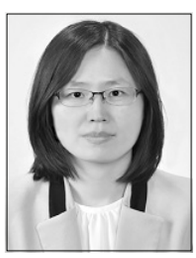
[17] GAZEBO [Internet], http://gazebosim.org/.

[18] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," in Computer Vision and Pattern Recognition, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, pp.1804-2767, 2018.

[19] YOLO: Real-Time Object Detection [Internet], https://pjreddie.com/darknet/yolo/.

[20] YOLO ROS: Real-Time Object Detection for ROS [Internet], https:// github.com/leggedrobotics/darknet_ros.

[21] darknet_ros_3d [Internet], https://github.com/IntelligentRoboticsLabs/gb_ visual_detection_3d.



박 명 숙

https://orcid.org/0000-0003-1048-0792
e-mail : nicems@nate.com
2016년 한경대학교 전기전자제어공학과 (석사)
2019년 한경대학교 전기전자제어공학과 (박사수료)
관심분야 : Image Processing, Robot Control, Machine Learning

김 규 태

https://orcid.org/0000-0001-6975-9291
e-mail : kyuuue@naver.com
2016년 ~ 현 재 한경대학교 전기전자제어공학과 학사과정
관심분야 : Robot Control, Embedded Software, Robotics

구 모 세

https://orcid.org/0000-0002-4545-6023
e-mail : yenuj2@naver.com
2016년 ~ 현 재 한경대학교 전기전자제어공학과 학사과정
관심분야 : Embedded Software, Hardware Design, Robotics

고 영 준

https://orcid.org/0000-0001-5886-8986
e-mail : gorhdudwns@naver.com
2016년 ~ 현 재 한경대학교
전기전자제어공학과 학사과정
관심분야 : Embedded Software, Hardware Design, Robotics

김 상 훈

https://orcid.org/0000-0001-5351-8215
e-mail : kimsh@hknu.ac.kr
1999년 고려대학교 전자공학과(박사)
2004년 ~ 2005년 University of Maryland College Park, Visiting Professor
1999년 ~ 현 재 한경대학교 ICT로봇기계공학부 교수
관심분야 : Image Processing, Robot Vision, Embedded System