

# 딥러닝과 ROS 기반의 지능적 객체 제어가 가능한 모듈형 6자유도 매니퓰레이터의 설계

김규태, 김상훈\*

\*한경대학교 전기전자제어공학과

e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

## A Study on Modular 6-DOF manipulator for Intelligent Object Control based on Deep Learning and ROS

Kyu-Tae Kim\*, Sang-Hoon Kim\*

\*Dept of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University

### 요약

본 논문은 서비스 로봇 분야에서 역할을 수행하는 ROS 및 딥러닝 기반 모듈형 6자유도 매니퓰레이터의 설계 방법 및 성능 개선 결과를 제시한다. 기구적 설계, 모터 선정, 역 기구학 해석 방법 및 지능적 제어 방법에 대한 개선점과 향후 연구과제에 대해 다룬다. 특히 고정된 작업 반경 안에 있는 물체를 검출하고 이동시키는 방법을 딥러닝학습에 의해 정확도를 증가시키며, 임의의 위치에 존재하는 다양한 작업환경에서도 성공적인 작업수행이 가능하도록 수직 다관절 모듈형 매니퓰레이터를 설계하고 주요 성능을 검증하였으며 사용자의 사용 목적에 맞게 다양한 환경에서의 임무 수행이 가능하도록 설계하였다.

### 1. 서론

4차 산업혁명의 등장으로 사회의 각 분야에서 로봇 시장의 규모가 계속 증가하고 실용성과 안정성을 높이기 위해 다양한 형태의 로봇이 개발되고 있다. 다양한 로봇 시장 중 정밀함과 반복적인 임무를 수행할 때 핵심이 되는 로봇 팔(Manipulator)은 크게 산업용 로봇 팔, 서비스 분야 로봇 팔, 수중용 로봇 팔 등 다양하게 나눌 수 있는데 과거에는 주로 산업용 로봇 팔이 주로 시장을 차지하고 있었지만 최근 들어 커피를 만드는 로봇 팔, 모바일 로봇에 로봇 팔을 통합해 구현한 서비스 분야 로봇 등 점차 서비스 분야 로봇 팔의 시장이 증가하고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 서비스 분야 로봇 팔을 딥러닝 기반의 물체 인식 및 검출을 이용한 6자유도를 가진 수직 다관절 모듈형 매니퓰레이터로 자체 설계 및 제작하여 고정된 작업반경 안에 있는 물체를 집어 옮기는 것이 아닌 다양한 작업환경에서의 작업수행이 가능한 ROS(Robot Operation System)기반 6자유도 모듈형 매니퓰레이터를 설명하려고 한다.

로봇 응용 프로그램 개발을 위한 오픈소스 운영체제인 ROS를 활용하여 영상처리를 통한 물체 인식 및 정확도를 높이기 위해 딥러닝을 이용한 학습을 통해 수행하고자 하는 물체를 검출하고, 설계한 로봇 팔의 역 기구학을 해석해 모터의 각도 값을 MCU로 전달해 줌으로써 카페, 패스트푸드점 등 다양한 서비스 분야에서 설계된 로봇 스스로

음료 컵, 쓰레기 등 물체를 사용자의 목적에 맞게 옮기거나 쓰레기를 버리는 역할을 수행 할 수 있다. [1]

다음과 같은 적용 기능을 가지고 실제 로봇에 적용하기 위해 로봇 팔의 자유도, 가반 하중, 총 무게, 총 길이 등 작업 반경과 사용 목적에 맞게 설계를 했으며, 설계 조건에 맞는 관절기 즉, 모터로는 서보 모터의 일종으로 모터, 제어기, 감속기어, 위치제어 시스템을 결합한 로보티즈사의 Dynamixel 을 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 고정된 위치에 있는 물체를 집어 옮기는 매니퓰레이터가 아닌 임의의 위치에 존재하는 물체를 파악해 집어 옮기는 딥러닝과 ROS기반의 객체 제어가 가능한 모듈형 6자유도 매니퓰레이터를 제시한다.

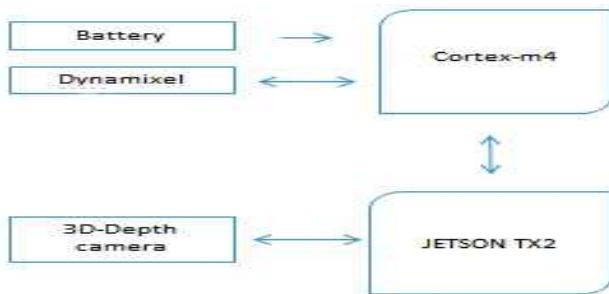
### 2. 본론

#### 2.1. 로봇 구성도 및 흐름도

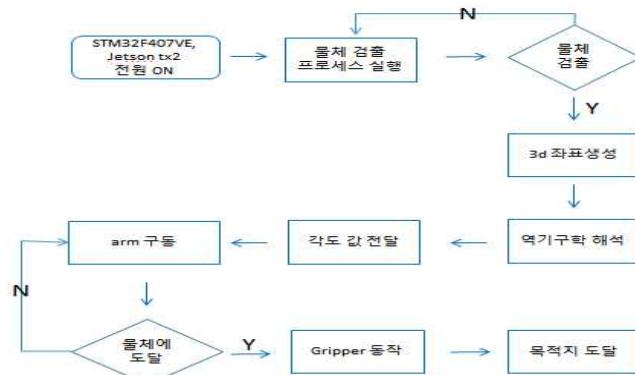
개발하고자 하는 로봇의 전체적인 기자재와 구조는 물체인식 및 검출을 위한 3D-Depth Camera(Realsense Depth Camera D435, intel)[2]를 사용하고 로봇의 관절의 역할을 하는 모터는 Dynamixel(Robotis)6개를 이용해 6자유도 로봇 팔을 구현하였다. Lipo-battery를 이용해 로봇의 전원을 공급하며, 로봇의 제어를 위한 MCU로는 Cortex-m4(STM32F407VE), ROS활용과 딥러닝 기술을 통한 물체 인식 및 장치와의 통신을 구현하는 임베디드보드는 Jetson-TX2를 이용한다. 구성도는 <그림 1>과 같

다.

Jetson-TX2를 이용한 Ubuntu 16.04 환경에서 사용자가 검출하고자 하는 이미지를 학습 후 학습 된 2D 이미지를 받아 YOLO V3로 물체를 인식 후 얻을 수 있는 bounding box topic과 3D-Depth Camera에서 보내주는 포인트 클라우드 topic을 Darknet ROS 3D[3]를 이용해 물체의 3D 좌표 값을 얻을 수 있고, ROS에서 제공하는 Moveit을 이용해 목표지점까지 구동해야 하는 관절의 각도 값을 역 기구학을 해석을 통해 계산 후 각도 값을 시리얼 통신으로 MCU(Cortex-m4)로 전달을 하게 된다. 또한, MCU에서 각 관절에 받은 관절 각도 값에 따라 움직일 수 있도록 로봇 Arm 제어를 통해 물체에 도달하게 되고, 물체를 이송하기 위해 Gripper 동작을 통해 목적지에 도달하게 된다. 예상 설계 흐름도는 <그림 2>와 같다.



<그림 1> 설계 구성도



<그림 2> 설계 흐름도

### 3. 실험 및 설계 분석

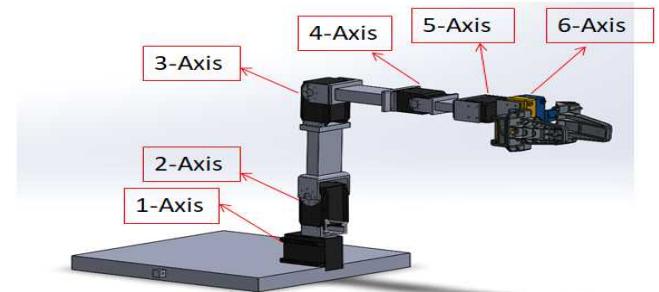
#### 3.1. 로봇 팔 설계

##### 3.1.1 기구적 설계

서비스 분야에서 매니퓰레이터를 카페, 패스트푸드점 등 다양한 환경에서 사용할 때 공간상의 어떤 지점에도 도달 할 수 있도록 3개의 회전 운동(Yaw, Pitch, Roll)을 하는 6자유도 수직 다관절을 선택하였고 일반적인 서비스 분야를 고려하여 쟁반 위에 올려져 있는 물체를 옮긴다고 가정하고 총 길이 0.52m, 총 무게 5kgf 이하, 가반 하중 0.5kg로 설계하였다. 프레임 제작은 3D프린터로 진행 할 것이고, 매니퓰레이터의 전체적인 외형은 로보티즈 사의 Open Manipulator를 참고하였다. <그림 3>은 본 연구에서 설계한

모듈형 6자유도 매니퓰레이터의 모습이고,

Yaw-Pitch-Pitch-Pitch-Yaw-Yaw의 관절 구조로 설계되었다.



<그림 3> 모듈형 6자유도 매니퓰레이터

#### 3.1.2 모터 용량

모터의 선정 중 중요한 부분은 설계한 무게를 베텨야 하고 유연한 동작이 가능해야 한다. 따라서 3.1.1장의 기구적 설계를 바탕으로 모터를 설계하였는데 매니퓰레이터의 직경, 길이, 질량중심 거리, 링크의 무게 등 파라미터 값을 가지고  $I_z = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$ 을 이용해 관성모멘트를 구했으며, 각 축의 각속도와 각가속도를 구해  $T_i = I_e \times \alpha$ 를 이용한 관성력에 의한 토크와  $T_{wi} = m_i g \times d_i \times \sin\theta$ 식을 이용한 최대 부하 토크를 구해  $T_{road} = T_{max} + T_{wmax}$ 로 최대 토크를 구하였다. <표 1>에 나온 값들이 바로 각 축의 최대 토크이다. [4]

| i | 운동    | $T_{road}[Nm]$ |
|---|-------|----------------|
| 1 | Yaw   | 4.573          |
| 2 | Pitch | 3.632          |
| 3 | Pitch | 2.576          |
| 4 | Pitch | 1.685          |
| 5 | Yaw   | 1.251          |
| 6 | Yaw   | 1.1131         |

<표 1> 각 축의 최대 토크

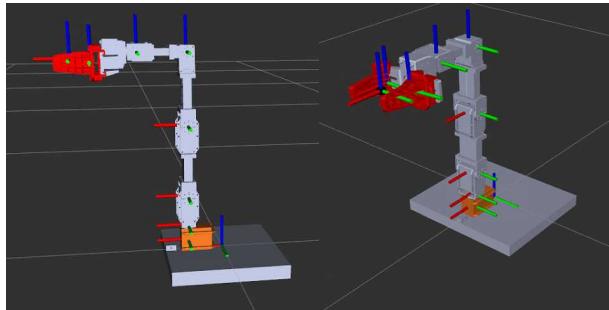
다음과 같은 구동 용량에 안전을 1.5를 만족하는 매니퓰레이터의 관절 모터는 <표 2>의 Robotis사의 Dynamixel을 사용했다.

| i | Stall Torque[Nm] | Gear Ratio |
|---|------------------|------------|
| 1 | 8.4              | 225:1      |
| 2 | 6                | 200:1      |
| 3 | 6                | 200:1      |
| 4 | 4.1              | 353.5:1    |
| 5 | 4.1              | 353.5:1    |
| 6 | 4.1              | 353.5:1    |

<표 2> Dynamixel(위에부터 Mx-106,Mx-64,Xm430-W350)

### 3.2 역기구학 해석 방법

역 기구학은 end effector에서 각 관절 변수를 도출하는 과정이며, 역 기구학을 구하는 방법에는 자코비안(Jacobian)을 이용해 각 회전 관절의 선속도 또는 각속도를 구해 관계식을 도출할 수 있는 방법이 있지만 본 논문에선 Jetson-TX2를 이용한 Ubuntu 16.04환경에서 ROS에서 시각화 모델링과 Moveit 패키지를 작성하기 위해 설계한 로봇 팔의 링크(Link), 연결부(Joint), 관성정보, 관절의 구조조합으로 URDF(Unified Robot Description Format)파일을 작성하고 이를 ROS시각화 툴인 Rviz(ROS Visualiztion)에서 확인해 보았다. [5]



<그림 4> Rviz 시각화 툴로 나타낸 매니퓰레이터

<그림 4>와 같이 URDF파일을 작성 후 로봇의 역 기구학 해석 및 경로 계획, 충돌 회피 등과 같은 문제를 해결하기 위해 Moveit을 활용한다.. 향후 Moveit을 이용해 목적지까지의 경로 생성 과정과 움직여야 하는 각도 값을 노드를 통해 저장하게 되고 이를 시리얼 통신을 통해 MCU로 전달할 것이다. [6]

### 3.3 제어

모터를 제어하기에 앞서 Dynamixel(Robotis)를 Cortex-m4로 제어하기 위해선 제어기에서 나오는 UART 신호를 Half duplex type으로 변환시켜 주어야 한다. [7] 따라서, Half duplex 통신 회로가 구축이 되면 패킷 형식으로 사용자가 원하는 위치제어, 속도제어 등 Dynamixel에 UART통신으로 보내주게 되는데 2.3 역 기구학 해석을 통해 얻은 각도 값을 Jetson -> MCU -> Dynamixel

순서로 전해주게 되는 것이다.

추가로 서비스 분야에서 쓰이는 로봇 팔이므로 안정성이 매우 중요하게 생각된다. PIR센서와 초음파센서를 융합해 로봇 팔 주변 일정 거리 안에 도달할 시 동작을 멈춰 주변 사람과 부딪히는 사고를 방지한다. 또한 Gripper의 제어 부분이다. <그림 5>를 보시면 모터는 전류의 양에 따라 토크의 힘의 크기가 달라진다. 이를 응용하여 전류의 양에 따라 Gripper의 힘을 제어해 물체를 집고 옮기는 임무를 수행할 것이고, 로봇에 과부하가 걸리는 것을 방지하기 위해 일정 무게 이상의 물체를 옮길 수 있는 최대 토크를 모터에 흐르는 전류의 양으로 판단해 모터의 과부하를 예방할 것이다.



<그림 5> Xm430-w350의 성능 그래프[7]

### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 서비스 로봇 분야에서 역할을 수행하는 ROS 및 딥러닝 기반 모듈형 6자유도 매니퓰레이터의 설계 방법 및 성능 개선 결과를 제시한다. 기구적 설계, 모터 선정, 역 기구학 해석 방법 및 지능적 제어 방법에 대한 개선점과 향후 연구과제에 대해 다루었다. 특히 고정된 작업 반경 안에 있는 물체를 검출하고 이동시키는 방법을 딥러닝학습에 의해 정확도를 증가시키며, 임의의 위치에 존재하는 다양한 작업환경에서도 성공적인 작업수행이 가능하도록 수직 다관절 모듈형 매니퓰레이터를 설계하고 주요 성능을 검증하였으며 사용자의 사용 목적에 맞게 다양한 환경에서의 임무 수행이 가능하도록 설계하였다. 현재 역 기구학 해석 부분과 완벽한 모터제어 부분을 해결하기 위해 연구를 계속 진행해 나가고 있고, 최종 하드웨어 추출과 실험을 통한 오차를 가상 시뮬레이션과 3D프린터로 제작한 프레임과 모터를 연결하여 실제 매니퓰레이터를 통해 줄여나갈 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 지원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020R1F1A1067496)

## 참고문헌

- [1] 고동현, 이재현, 김정인, 박범솔, 이치범, ROS를 활용한 모바일 로봇과 매니퓰레이터의 통합 2020
- [2] Intel, Realsense d435,  
<http://wiki.ros.org/RealSense>
- [3] Fernando González Ramos, darknet\_ros\_3d,  
[https://github.com/IntelligentRoboticsLabs/gb\\_visula\\_l\\_detection\\_3d](https://github.com/IntelligentRoboticsLabs/gb_visula_l_detection_3d)
- [4] 하지훈, 주영도, 김동희, 김준영, 최형식, 방수형  
로봇팔의 설계, 실험 및 제어 연구, 10, 2014.06.18
- [5] ROS wiki, <http://wiki.ros.org/urdf>
- [6] MoveIt, <https://moveit.ros.org>
- [7] ROBOTIS e-manual XM-430-W350
- [8] 조경식, 이동현, 김갑순, 소형 폭발물 처리 로봇을 위한 고성능 매니퓰레이터 설계, 한국정밀공학회지, 제 36권, 제 12호, 1125-1133, 2019
- [9] 강진일, 최형식, 전봉환, 지대형, 오지윤, 김준영,  
재난 탐사 및 구조를 위한 로봇팔 설계 및 제어, 제  
어로봇시스템학회 논문지, 제 22권, 888-894, 2016.11
- [10] 김태정, 기구학:운동의 원리와 해석을 중심으로,  
2015
- [11] ROBOTIS, Open MANIPULATOR-X