

지능적 객체검출과 물체이동 기능을 갖는 6축 로봇 팔의 설계

김규태, 구모세, 고영준, 박명숙, 김상훈*

*한경대학교 ICT로봇공학전공

e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

The design of 6-axis robot arm with intelligent object detection and object movement function

Kyu-Tae Kim*, Mo-Se Koo*, Young-Jun Ko*, Myeong-Suk Park* Sang-Hoon Kim*

*Dept of ICT Robot Engineering, Hankyong National University

요 약

본 논문은 서비스 로봇 분야에서 활용 가능한, ROS기반의 객체검출과 이동 기능을 갖는 6축 로봇 팔의 설계 방법 및 성능 개선결과를 제시한다. 기구설계, 물체검출, 3D좌표생성을 통한 실시간 역 기구학 해석 방법 및 지능적 모터 및 센서 제어 방법 등에 대해 제시하였다. 특히 영상과 센서기반 처리를 통해 고정된 작업 환경 내 물체를 지능적으로 검출하고 목표지점까지 이동시키며, ROS기반의 추출된 정보를 이용하여 동작의 오차를 최소화하기 위해 다관절 로봇 팔의 운동을 최적화하여 설계하였으며 다양한 관련 실험을 통해 주요 성능을 검증하였다.

1. 서 론

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 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 팔 시장이 증가하고 있다. [1]

따라서 로봇 응용 프로그램 개발을 위한 오픈소스 운영체제인 ROS(Robot Operating System)를 활용하여 영상처리를 통한 물체검출을 위해 오픈소스 Darknet_ROS_3D로 수행하고자 하는 물체를 검출하고, 설계한 로봇 팔의 실시간 역 기구학을 해석 후 모터의 각도 값을 MCU로 전달해 다양한 센서들의 융합을 통해 다양한 크기 및 재질의 물체를 구별하고, 주변 사람들과의 충돌 및 끼임 방지 시스템을 개발함으로써 카페, 패스트푸드점 등 다양한 서비스 분야에서 설계된 로봇이 스스로 음료 컵, 쓰레기 등 물체를 사용자의 목적에 맞게 옮기거나 쓰레기를 버리는 역할

을 수행 할 수 있다.

다음과 같은 적용 기능을 가지고 실제 로봇에 적용하기 위해 로봇 팔의 자유도, 가반 하중, 총 무게, 총 길이 등 작업 환경과 사용 목적에 맞게 설계를 했으며, 설계 조건에 맞는 관절 구동기 즉, 모터로는 서보 모터의 일종으로 모터, 제어기, 감속기어, 위치제어 시스템을 결합한 로보티즈사의 Dynamixel 을 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 자체 설계 및 제작하여 정해진 위치에 있는 물체를 집어 옮기는 로봇 팔이 아닌 다양한 위치에 존재하는 물체를 파악해 집어 옮기는 ROS기반의 제어가 가능한 물체검출을 이용한 물체이동 6축 로봇 팔을 제시한다.

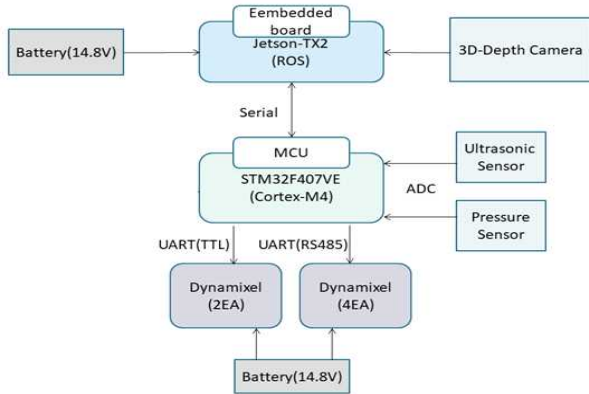
2. 본 론

2.1 로봇 구성도 및 흐름도

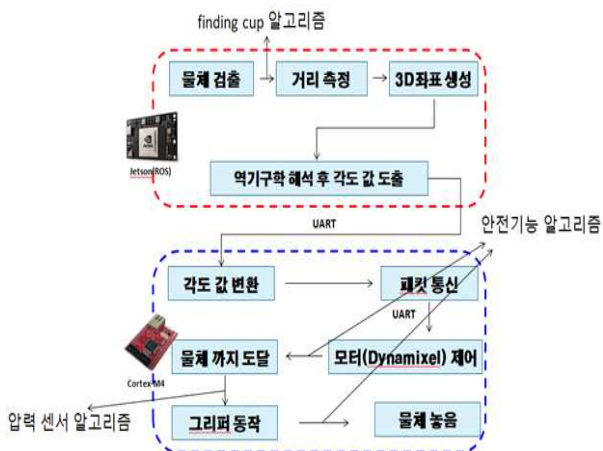
개발하고자 하는 로봇의 전체적인 기자재와 구조는 물체검출을 위한 3D-Depth Camera(Realsense Depth Camera D435, intel)[2]를 사용하고 로봇의 관절의 역할을 하는 모터는 Dynamixel(Robotis)6개를 이용해 6 자유도 로봇 팔을 구현하였다. Lipo-battery를 이용해 로봇의 전원을 공급하며, 압력센서(FSR-406)와 초음파 센서(HC-SR04)를 이용해 다양한 재질 및 크기의 물체 파악 및 안전기능을 추가하였다. 로봇의 제어를

위한 MCU로는 Cortex-M4(STM32F407VE), ROS 활용과 물체검출 및 장치와의 통신을 구현하는 임베디드 보드는 Jetson-TX2를 이용한다. 구성도는 (그림 1)과 같다.

Jetson-TX2를 이용한 Ubuntu 16.04 환경에서 ROS 오픈소스인 Darknet_ROS_3d를 이용하여 물체검출을 진행하여 관심물체에 3D bounding box가 생성되고 중심점을 기준으로 3D좌표를 생성한다. 그 후 물체까지 도달하기 위해 실시간 역 기구학 해석을 위해 Moveit 알고리즘을 활용하였다. 목표 지점까지 구동해야 하는 관절의 각도 값들을 계산 후 각도 값 (radian)을 UART(Universal asynchronous receiver transmitter) 통신으로 MCU(Cortex-M4)로 전달하게 되고, 모터에 전달하기 위해 디지털 값으로 변환 후 각 관절에 받은 각도 값(디지털)에 따라 움직일 수 있도록 펌웨어로 로봇 팔 모터제어 과정을 거쳐 물체에 도달하게 된다. 또한, 물체를 이송하기 위해 Gripper 동작 후 압력센서에 측정되는 압력 값에 따라 캔, 플라스틱, 종이 재질을 구분 후 지정된 목적지에 도달하게 된다. 동작 순서도는 (그림 2)와 같다.



(그림 1) 로봇 구성도



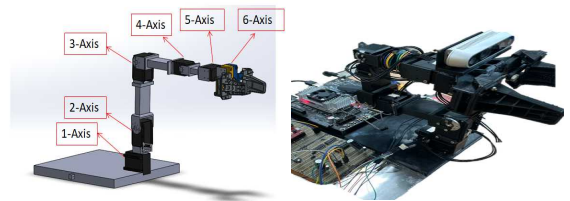
(그림 2) 동작 순서도

3. 실험 및 설계 분석

3.1 로봇 팔 설계

3.1.1 기구적 설계

다양한 환경에서 사용할 때 공간상의 어떤 지점에도 도달할 수 있도록 3개의 회전 운동(Yaw, Pitch Roll)을 하는 6 자유도 수직 다관절을 선택하였고 총 길이가 0.48m, 총 무게 5kgf 이하, 가반 하중 1kg로 설계하였다. 프레임 제작은 3D프린터(PLA)로 진행하였다. (그림 3)은 본 연구에서 설계한 6 자유도 로봇 팔의 모습이고, Yaw-Pitch-Pitch-Pitch-Yaw-Yaw의 관절 구조로 설계되었으며, <표 1>은 로봇 팔의 하드웨어 스펙이다.



(그림 3) 6 자유도 로봇 팔

<표 1> 하드웨어 스펙

| items | contents |
|----------------------|------------------------------------|
| Reach | 484.8mm |
| DOF | 5+1(yaw-pitch-pitch-pitch-yaw-yaw) |
| Payload | 1kgf |
| Weight | 1kg |
| Gripper Stroke | 2~10cm 이내 |
| Speed(Joint) | 약 20Rpm |
| Main Controller | Cortex-m4, Jetson-TX2 |
| Camera minimum range | 11cm |
| working time | total : 45s(one job) |
| actuator | Dynamixel |

3.1.2 모터 용량 분석

모터의 선정 중 중요한 부분은 설계한 무게를 버텨야 하고 유연한 동작이 가능해야 한다. 따라서 3.1.1 장의 기구적 설계를 바탕으로 모터를 설계하였는데 로봇 팔의 직경, 길이, 질량중심 거리, 링크의 무게 등 파라미터 값을 가지고

$$I_z = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad (1)$$

이용해 관성모멘트를 구했으며, 각 축의 각속도와 각가속도를 도출하였다.

$$T_i = I_e \times \alpha \quad (2)$$

이용한 관성력에 의한 토크와

$$T_{wi} = m_i g \times d_i \times \sin\theta \quad (3)$$

이용한 최대 부하 토크를 구하였고

$$T_{road} = T_{max} + T_{wmax} \quad (4)$$

최대 토크를 구하였다.

<표 2>에 나온 값들이 바로 각 축의 최대 토크이며 [4] 다음과 같은 구동 용량에 안전율 1.5를 만족하는 로봇 팔의 관절 모터는 <표 3>의 Robotis사의 Dynamixel을 사용했다.

<표 2> 각 축의 최대 토크

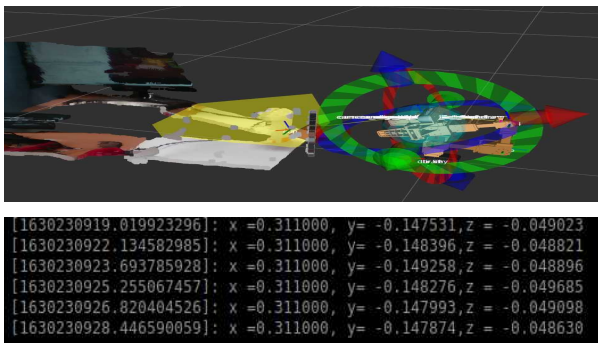
| i | $T_{road}[Nm]$ | $T_{road}[Nm] \times 1.5$ |
|---|----------------|---------------------------|
| 1 | 3.9324 | 5.898 |
| 2 | 2.4638 | 3.695 |
| 3 | 1.923 | 2.8845 |
| 4 | 1.606 | 2.409 |
| 5 | 1.551 | 2.326 |
| 6 | 1.533 | 2.299 |

<표 3> Dynamixe (Mx-106,Mx-64,Xm430-W350)

| i | Stall Torque[Nm] | G e a r 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 |

3.2 물체검출 및 역 기구학 해석 방법

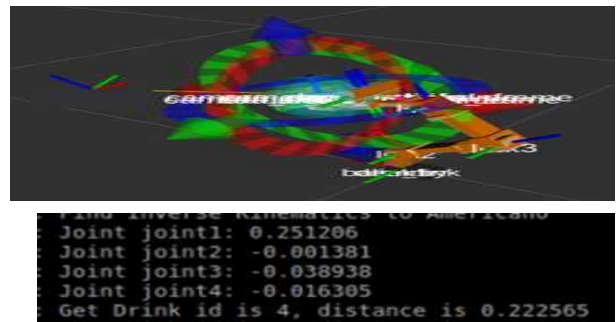
제작한 로봇 팔은 고정된 위치의 반복적인 행동이 아닌 다른 위치에 있는 물체를 잡고 옮겨야 하기 때문에 물체검출뿐만이 아닌 물체의 3D좌표 값을 얻어야 한다. 따라서 Depth camera를 이용한 ROS의 Darknet_ROS_3D(YOLO V3_tiny)를 바탕으로 물체검출을 진행하였다. 물체의 3D bounding box를 얻어 중심점을 기준으로 3D좌표를 생성하여 (그림 4)와 같은 검출한 물체의 x, y, z 값을 도출할 수 있다. 이를 바탕으로 역 기구학 해석 과정을 진행하게 된다.



(그림 4) 관심물체에 3D bounding box가 생성되고 해당 x,y,z 좌표

역 기구학은 end effector에서 각 관절 변수를 도출하는 과정이다. 본 논문에선 ROS에서 시각화 모델링

과 Moveit 패키지를 작성하기 위해 설계한 로봇 팔의 관절의 구조조합으로 URDF 파일을 작성하고 작성 후 Moveit을 활용하여 목적지까지 움직여야 하는 각도 값을 시리얼 통신을 통해 MCU로 전달하게 된다. [5] (그림 5)와 같이 Moveit을 통한 실시간 역 기구학 해석을 통해 좌표까지 움직여야 할 각 축의 각도 값 (radian)을 나타내었다.[6] 또한, 카메라 시야에 관심물체가 없는 경우 자세를 바꿔 물체를 찾아 카메라 화각에 bounding box가 생성되지 않았을 때 물체를 찾기 위해 로봇 팔의 자세를 변경하여 다양한 위치에 존재하는 물체를 찾아 동작할 수 있도록 설계하였다.



(그림 5) ROS Moveit을 통한 역 기구학 해석에 따른 각 축의 조인트 값

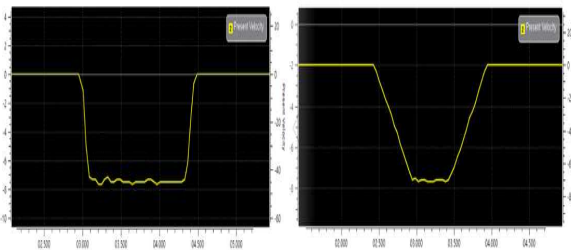
3.3 모터 및 센서 제어

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 회로를 거쳐 패킷 형식으로 사용자가 원하는 위치제어, 속도제어 등 Dynamixel에 UART통신으로 보내준다. 3.2 역 기구학 해석을 통해 얻은 각도 값을 Jetson -> MCU -> Dynamixel 순서로 모터가 읽을 수 있는 디지털 값으로 변환 후 전해주게 되는 것이다. <표 4>은 Jetson에서 역기구학 해석 후 전해준 radian 각도 값과 실제 로봇 팔의 각 축 모터가 움직인 현재 각도 값을 비교한 결과다.

<표 4> 계산된 각도 값과 모터에서의 각도 값 비교

| 역 기구학 해석으로 나온 각도 값 | radian to degree | 움직인 모터의 각도 | 오차 |
|--------------------------------|------------------|------------|--------|
| -0.66870898534457 | 141.68° | 141.71° | -0.03 |
| -0.75363726126154 | 136.81° | 137.85° | +0.24 |
| -0.04806653535194 | 177.246° | 177.41° | +0.155 |
| -5.679706186051e ⁻⁵ | 180.06° | 180.04° | -0.02 |

또한, 로봇 팔을 사람의 팔처럼 구현하기 위해 로봇 팔이 목표 위치로 이동할 때 모터의 속도를 PWM제어를 선택하여 단지 속도를 느리게 제어하게 되면 자연스럽게 목적지에 도달할 수 있겠지만, 물체를 집고 옮기는 작업을 수행하기에 느리게 동작했을 때 (그림 6)의 왼쪽 그림과 같이 급격하게 변하는 속도로 인해 부하를 받고있는 모터가 동작하거나 멈출 시 부자연스러운 동작을 하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 모터의 속도제어를 Profile_Velocity 속도제어 방식을 이용하여 (그림 6)의 오른쪽 그림과 같이 모터 구동 시 총 시간과 모터의 가속 시간을 설정해 급격하게 변하는 속도와 가속도를 조절함으로 기존의 구동 방식보다 부드러운 동작으로 모터의 부하를 줄이는 가감속 제어 방법을 적용하였다.



(그림 6) 모터 속도 그래프

지능적인 로봇 팔의 구동을 위해 초음파 센서와 압력센서를 활용하였는데, 먼저 서비스용 로봇 팔로 제작되어 주변 사람들과 충돌 및 끼임 방지를 위한 안전기능이 중요시된다. 따라서 로봇 팔 양옆에 달린 2개의 초음파 센서로 이동시간과 초음파의 속도를 이용해

$$distance = sensor_time \times velocity(0.34m/s)/2 \quad (5)$$

다음과 같은 거리 계산 식으로 주변 장애물이 감지되었을 때 MCU는 즉각적으로 동작을 멈추고 이전 행동으로 돌아가도록 시스템을 설계하였고, 로봇 스스로 재질 및 크기가 다른 관심물체(컵)를 구분하여 옮기기 위해 Gripper 안쪽에 압력센서를 부착하였다. 관심물체는 캔, 종이, 플라스틱 컵으로 설정하였고, 압력센서의 압력의 세기 변화에 따른 실험데이터를 바탕으로 특정 임계 값 신호가 들어오면 Gripper를 멈추게 하여 Gripper Stroke 내의 물체를 파지할 수 있고, 재질에 따른 압력의 차이를 도출하여 캔:83%, 플라스틱:93.34%, 종이:81.4%의 성공률을 가지고 관심물체를 분리하는데 성공하였다. 따라서 Jetson과 Depth-camera 및 센서들의 융합으로 다양한 크기의 물체를 더욱 잘 구별하고, 주변 사람들과의 충돌 및 끼임 방지 시스템을 개발하였다.

4. 결 론

본 논문은 서비스 로봇 분야에서 활용 가능한, ROS 기반의 객체검출과 이동 기능을 갖는 6축 로봇 팔의 설계 방법 및 성능 개선결과를 제시한다. 기구설계, 물체검출, 3D좌표생성을 통한 실시간 역 기구학 해석 방법 및 지능적 모터 및 센서 제어 방법 등에 대해 제시하였다. 특히 영상과 센서기반 처리를 통해 고정된 작업 환경 내 물체를 지능적으로 검출하고 목표 지점까지 이동시키며, ROS기반의 추출된 정보를 이용하여 동작의 오차를 최소화하기 위해 다관절 로봇 팔의 운동을 최적화하여 설계하였으며 압력센서를 통한 다양한 관련 실험을 통해 물체를 분류할 수 있는 주요 성능을 검증하였다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 고동현, 이재현, 김정인, 박범술, 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_visual_detection_3d
- [4] 하지훈, 주영도, 김동희, 김준영, 최형식, 방수형 로봇 팔의 설계, 실험 및 제어 연구, 10, 2014.06.18.
- [5] MoveIt, <https://moveit.ros.org>
- [6] ROS wiki, <http://wiki.ros.org/urdf>
- [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, 제어 로봇 시스템학회 논문지, 제 22권, 888-894, 2016.11
- [10] 김태정, 기구학:운동의 원리와 해석을 중심으로, 2015
- [11] ROBOTIS, Open MANIPULATOR-X
- [12] Mathieu Bélanger-Barrette. Robotic End Effectors - Payload vs Grip Force, Jan 29, 2014
- [13] PYO Y. S, JO H. C, JUNG R. W. and LIM T. H, 2017, ROS robot programming, Bucheon, Ruby paper press.