

6축 수직 다관절 로봇팔의 설계

고영준, 김규태, 구모세, 박명숙, 김상훈

*한경대학교 ICT로봇공학전공

kimsh@hknu.ac.kr

Design of an 6 axial vertical multi-joint modular manipulator

Young-Jun Ko, Kyu-tae Kim, Mo-se Koo, Myeong-Suk Park, Sang-Hoon Kim*

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

요 약

본 논문에서는 카페나 패스트푸드점같은 장소에서 인간을 대신하여 임의의 위치에 있는 다양한 컵을 3D 카메라로 검출하여 알맞은 위치로 분리수거하는 6축 수직 다관절 로봇 팔을 설계하였다. Yaw-Pitch-Pitch-Pitch-Yaw-Yaw 6축 구조로 설계하였으며, 이를 구동하기 위한 관절 구동기의 용량을 분석을 통해 최적화하였다. 각각 재질이 다른 컵을 그리퍼를 이용하여 잘 파지할 수 있도록 재질에 따른 파지력을 분석하였고 압력센서를 이용하여 재질이 다른 컵을 구분하여 분리수거 할 수 있도록 하였다. 실험을 통해 로봇의 성능과 개선점을 제시하였다.

1. 서론

매니플레이터(로봇 팔)란 산업 로봇의 주축이 되는 로봇으로 팔의 구조를 가지며, 정해진 위치에서의 작업 물체를 이송하는 반복 작업을 하는 로봇으로 본 논문에서는 다양한 장소에서 임의의 위치에 있는 다양한 작업 물체를 이송하기 위해 공간상의 어떤 지점에도 도달할 수 있도록 3개의 회전운동을 하는 6 자유도를 가지는 수직 다관절 로봇 팔을 설계하였으며 설계 조건에 맞는 관절 구동기 선정에 의해 각 축의 구동 용량을 구하고 관절 구동기를 선정한다. 또한 압력센서를 이용해 재질이 다른 컵을 구분한 후 그리퍼에서 적용할 수 있는 최대 힘인 파지력을 이용하여 재질이 다른 컵을 잡기 위해 필요한 파지력을 분석하고 물체를 더 잘 잡고 각 재질에 맞는 위치에 분류한다.

2. 매니플레이터 기구부 구성

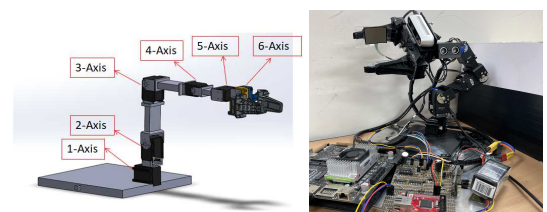
카페나 패스트푸드점에서 다양한 컵을 분리수거하는 6축 수직 다관절 로봇팔의 설계 조건은 다음과 같다. 가반 하중 1kgf, 총 무게 5kgf 내외의 6축 구조와 카페나 패스트푸드점에서 사용하는 쟁반 위 임의의 위치에 있는 쓰레기를 분리수거할 수 있도록 2축의 회전축 중심으로부터의 로봇팔의 길이를

0.4m로 설정하였다.

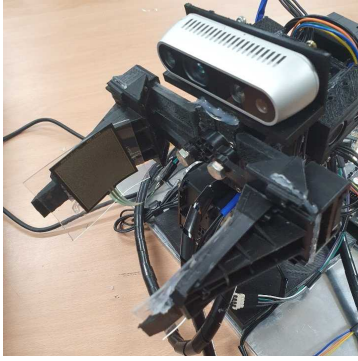
그리퍼는 일회용 종이컵, 일회용 플라스틱 컵, 캔을 잡을 수 있도록 최대 폭을 0.1m로 설계하였다. 본 논문에서는 위와 같은 설계 사양을 만족하기 위한 설계를 수행하였다.

(그림 1)은 본 연구에서 설계될 6축 로봇팔의 자유도로 yaw-pitch-pitch-pitch-yaw-yaw 관절 구조로 설계되었다. 1축은 Yaw 운동을 하는 구조로써 360° 회전하며 2축과 3축, 4축, Pitch 운동을 하는 구조로써 $\pm 90^\circ$ 회전 운동이 가능하며 5축과 6축은 Yaw 운동을 하고 2축, 3축, 4축과 같이 $\pm 90^\circ$ 회전하여 쓰레기에 음료가 담겨 있을 시에 90° 회전하여 음료를 버릴 수 있도록 설계하였으며,

(그림 2)처럼 왼쪽 그리퍼에 압력센서를 부착하여 물체를 집을 때 측정되는 값을 이용하여 물체의 재질을 구분할 수 있도록 설계하였다.



(그림 2) 매니플레이터의 자유도



(그림 3) 그리퍼

3. 관절 구동기의 구동 용량

관절 구동기의 구동 용량을 선정하기 위해 앞서 2절에서 설정한 제약 조건을 바탕으로 각 축에 필요한 관절 구동기 선정을 위해 각 축의 구동 용량을 산출하였으며 구동 용량 산출을 위한 파라미터 값은 다음과 같다.

[2] <표 1>에서의 사용되는 파라미터 값들은 다음과 같은 값을 의미한다. a_i = 링크의 직경, b_i = 링크의 길이, d_i = 회전중심과 질량중심 거리, m_i = 회전하는 링크의 무게이다.

<표 1>

i	$a_i[m]$	$b_i[m]$	$d_i[m]$	$m_i[kg]$
1	0.051	0.46	0.2	1.335
2	0.051	0.397	0.12	1.189
3	0.051	0.29	0.09	1.043
4	0.051	0.206	0.071	0.849
5	0.051	0.144	0.087	0.632
6	0.051	0.1	0.092	0.579

<표 1>의 파라미터 값을 가지고 관성모멘트 값을 구하기 이전에 총 구동 시간을 10s, 가감속 시간은 0.15s, 마찰저항 토크(T_f)를 $0.5N \cdot m$ 그리고 쓰레기의 무게를 0.5kg이라고 가정하고, [2] 아래와 같은 식을 이용하여 관성모멘트를 구하였다.

해당 링크 중심 주변의 관성모멘트 I_z

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

회전축과 질량중심 사이의 거리가 d_i 일 때 관성모멘트 I_e

$$I_e = I_z + md^2 \tag{2}$$

<표 2>는 식(1)과 식 (2)를 이용하여 구한 각 링

크의 관성모멘트를 나타낸 표이다.

<표 2>

i	운동	$I_{zi}[kg \cdot m^2]$	$I_{ei}[kg \cdot m^2]$
1	Yaw	0.0209	0.0743
2	Pitch	0.0138	0.0309
3	Pitch	0.0066	0.0015
4	Pitch	0.003186	0.0073
5	Yaw	0.0012	0.0059
6	Yaw	0.0006	0.0055

[2] 각 관절의 회전 각도를 $\theta(rad)$, 총 구동시간을 $t_t(s)$, 가감속 시간을 $t_a(s)$ 라고 아래와 같은 식이 성립하고 이때는 ω_c 는 각속도, α 는 각가속도이다.

$$\omega_c = \frac{\theta}{t_t - t_a} [rad/s]$$

(3)

$$\alpha = \frac{\omega_c}{t_a} [rad/s^2] \tag{4}$$

<표 3>은 식 (3)과 식 (4)를 이용해 구한 각 축의 각속도 값과 각가속도 값을 나타낸 것이다.

<표 3>

i	θ	$\omega_{ei}[rad/s]$	$a_{ei}[rad/s^2]$
1	6.282	0.6377	4.251
2	3.141	0.3188	2.125
3	3.141	0.3188	2.125
4	3.141	0.3188	2.125
5	3.141	0.3188	2.125
6	3.141	0.3188	2.125

[2] 위에서 구한 각가속도와 관성모멘트 I_{ei} 를 이용하여 식 (5)를 구할 수 있으며 관성력에 의한 토크: $T_i = I_e \times \alpha$ (5)

[2] 관성력에 의한 토크와 마찰저항 토크를 이용하면 식(6)이 성립한다.

$$가속에\ 필요한\ 토크: T_\alpha = T_i + T_f \tag{6}$$

$$T_{max} = T_\alpha + T_f \tag{7}$$

<표 4>는 식(8)을 이용하여 [2] 각 축의 최대 부하 토크를 나타낸 표이다.

최대 부하 토크: $T_{wi} = m_i g \times d_i \times \sin\theta$ (8)

<표 4>

i	θ	$d_i [m]$	$m_i [kg]$	$T_w [Nm]$
1	0~360	0.2	1.335	2.6166
2	± 90	0.12	1.189	1.3982
3	± 90	0.09	1.043	0.9199
4	± 90	0.071	0.849	0.59073
5	± 90	0.087	0.632	0.53884
6	0~360	0.092	0.579	0.52202

식(7)에서 구한 T_{max} 와 식(8)을 이용해 구한 <표 4>의 각 축의 최대 부하 토크를 이용하여 [2] 식 (9)가 성립하며

최대 토크: $T_{road} = T_{max} + T_{wmax}$ (9)

<표 5>는 식 (9)를 이용하여 각 축의 최대 토크를 나타낸 표이다.

<표 5>

i	운동	$T_{road} [Nm]$
1	Yaw	3.9324
2	Pitch	2.4638
3	Pitch	1.923
4	Pitch	1.606
5	Yaw	1.551
6	Yaw	1.533

4. 관절 구동기 선정

<표 6>은 <표 5>의 각 축의 최대 토크에 안전율 1.5를 곱한 값을 나타낸 것이며 관절 구동기를 선정할 때에 최대 토크에 안전율 1.5를 곱한 값보다 큰 Stall Torque를 가진 관절 구동기를 선정하였고 선정된 관절 구동기의 사양은 <표 7>과 같다.

<표 6>

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 7>

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

5. 압력센서를 이용한 실험 및 성공률

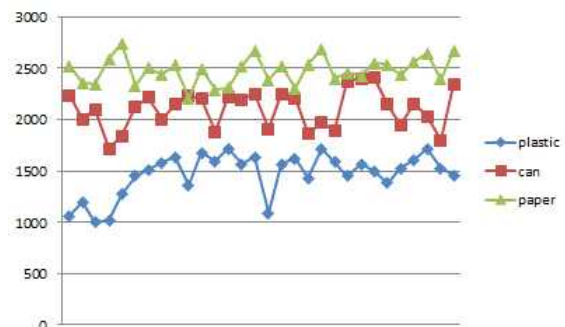
그리퍼에 부착된 압력센서를 이용해 관심 물체를 분리하기 위해 분리할 물체를 일회용 종이컵, 일회용 플라스틱 컵, 캔으로 설정하였다.

(그림 3)은 각 재질을 압력센서로 측정된 데이터 값이며 (그림 4)는 (그림 2)를 그래프로 나타낸 그림이다. 일회용 플라스틱의 경우 1000 이상 1750 미만의 범위가 측정되었고 캔의 경우 1750 이상 2400 미만의 범위가 측정되었으며 일회용 종이컵의 경우 2390 이상 2800 미만의 결과가 측정되었다.

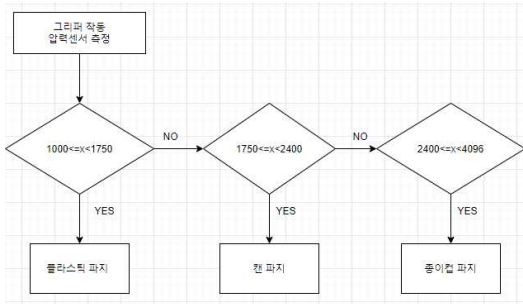
따라서 다음과 같은 데이터를 이용하여 (그림 5)와 같은 알고리즘을 설계하여 로봇팔이 컵을 분리하는 작업을 진행하였을 때 일회용 플라스틱 컵은 93.34%, 캔은 83%, 일회용 종이컵은 81.4%으로 압력센서를 이용하여 컵의 재질을 분류하는데 성공하였다. 다음과 같은 실험결과를 이용하여 로봇 팔로 일회용 종이컵, 일회용 플라스틱 컵, 캔을 분리하여 수거한다.

plastic	can	paper			
1058	2234	2520	1635	2251	2677
1197	2005	2364	1094	1905	2393
1002	2104	2350	1571	2251	2521
1024	1715	2593	1618	2205	2311
1276	1838	2738	1427	1873	2538
1451	2128	2336	1724	1971	2685
1514	2218	2504	1589	1899	2400
1585	2007	2438	1451	2379	2457
1640	2148	2531	1565	2402	2432
1368	2236	2210	1499	2414	2552
1678	2203	2498	1385	2149	2543
1592	1879	2289	1527	1946	2436
1724	2221	2313	1606	2151	2563
1563	2200	2523	1722	2029	2651
			1529	1800	2394
			1457	2346	2674

(그림 3) 재질에 따른 압력센서 데이터 값



(그림 4) 재질에 따른 압력센서 데이터 그래프



(그림 5) 물체 분리 알고리즘

6. 관심 물체 최소 파지력

압력센서를 이용해 분리한 재질이 다른 일회용 종이 컵, 일회용 플라스틱 컵, 캔을 더 잘 파지하기 위해 [5] 최소 파지력을 식(10)을 이용해 계산하였다.

최소 파지력:
$$F = \frac{mg}{u} \times 2$$
 (10)

이때 F는 파지력[N], u는 정지 마찰 계수, m은 부품의 질량, g는 중력가속도[9.8m/s²]이다.

<표 8>은 각 재질의 정지 마찰계수와 무게를 가질 때 최소 파지력을 나타낸 표다. 정지 마찰계수가 높은 재질은 정지 마찰계수가 낮은 재질보다 상대적으로 덜 미끄러워 최소 파지력이 낮음을 알 수 있으며 재질마다 필요한 최소 파지력을 구함으로써 다른 재질과 무게를 가진 컵을 보다 더 잘 파지할 수 있다.

<표 8>

	정지 마찰 계수	15g	100g	200g	300g
종이 컵	0.176	1.667 [N]	11.11 [N]	22.23 [N]	33.34 [N]
플라스틱 컵	0.3639	0.8 [N]	5.38 [N]	10.772 [N]	16.158 [N]
캔	1.0723	0.274 [N]	1.83 [N]	3.65 [N]	5.48 [N]

7. 결론

본 논문에서는 카페나 패스트푸드점 같은 다양한 장소에서 일회용 종이컵, 일회용 플라스틱 컵, 캔을 카메라로 검출하여 알맞은 위치에 분리수거하는 6축 로봇팔의 구동 용량을 산출해 설계 목적에 맞는 관절 구동기를 선정하고 각 관절 구동기를 연결하는 링크 및 프레임을 직접 설계해 제작하였으며 압력센서를 이용해 재질에 따라 데이터 값을 측정하여 알

고리즘을 설계해 재질이 다른 컵을 분류하고 재질에 따라 산출한 최소 파지력을 구해 각기 다른 재질과 무게를 가진 컵을 보다 더 잘 파지할 수 있도록 설계하였다. 최종 하드웨어 스펙은 <표 9>와 같다.

<표 9>

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

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 최형식, 고성능 유연작업 다관절 로봇 매니플레이터의 개발, 6, 2004.05.30.
- [2] 하지훈, 주영도, 김동희, 김준영, 최형식, 방수형 로봇팔의 설계, 실험 및 제어 연구, 10, 2014.06.18
- [3] 조경식, 이동현, 김갑순, 소형 폭발물 처리 로봇을 위한 고성능 매니플레이터 설계, 한국정밀공학회지, 제 36권, 제 12호, 1125-1133, 2019.11.25.
- [4] 강진일, 최형식, 전봉환, 지대형, 오지윤, 김준영, 재난 탐사 및 구조를 위한 로봇팔 설계 및 제어, 제어로봇시스템학회 논문지, 제 22권, 888-894, 2016.11
- [5] Mathieu Bélanger-Barrette. Robotic End Effectors - Payload vs Grip Force, Jan 29, 2014