

Dual Manipulator와 Stereo Vision을 이용한 서비스 로봇

Design of a service robot with dual manipulators and stereo vision

이 대 회, 이 희 국, 우 경 석, 함 상 화, 박 주 현, 이 석 규

영남대학교 전자정보공학부(전화:(053)810-3923, 팩스:(053)813-8230, E-mail : {rectan, padagi, weeks, lucky444, jessie, sglee}@yumail.ac.kr)

Abstract : The service robot, with stereo vision system and dual manipulator of four degree of freedom, has been designed. A fuzzy controller has been implemented for effectively actuating the manipulator of the robot. The fuzzy controller determines operation mode(single or dual manipulators) and orientation from the information of object position and distance. Through actual experimentation, we have confirmed that the robot system with human-like movement of grabber has been executed a rapid and effective motion.

Keywords : Dual manipulator, Fuzzy controller, Stereo vision system

1. 서론

로봇은 1962년 미국 Unimation사에 의해서 반복적 작업을 수행하기 위해 처음 제조 되었다. 1980년대 초 물류운반, 용접 등 단순 반복적인 업무에서 최근 조립 및 정교한 작업을 위해 로봇이 점차 복잡하고 다양하게 발전되고 있다[1]. 그 중 로봇에서 큰 축을 담당하는 것이 매니플레이터(manipulator)이다. 그런데 작업 영역(Workspace), 관절각 그리고 구동기의 구동 토크의 한계로 인해 실제 작업 할 수 있는 대상은 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해 본 논문을 통해 실제 시스템을 구현해 보았다.

서비스 로봇의 특징인 주위 환경에 대한 다양한 정보와 명령을 관측하고 분석하기 위해 인간의 눈과 유사한 동작을 하는 양안 시스템(Stereo vision system)을 적용하였다[2].

로봇 시스템에서 물체를 인식 후 구동하기 위해서는 정확한 정보가 필요하다. 그러나 실제 입력 받는 영상 정보는 매우 다양하며, 외란 및 정해지지 않은 다양한 작업을 수행을 해야 하는 경우가 많다. 그러므로 우수한 범용성의 작업 능력을 가지며, 제어 대상의 특성을 정량 또는 정성적으로 인식해 가면서 작업을 수행하기 위해 퍼지 제어를 구성하였다[3].

본 논문에서는 인간의 팔과 같이 보다 효과적이고, 정밀한 물체 획득의 작업을 수행하기 위한 제어알고리즘과 이를 구현하기 위한 서비스 로봇을 제안한다.

II. 시스템 구성

1. 시스템 개요

본 실험을 위해서 로봇 시스템을 구성하였다. 그림 1과 같이 로봇 시스템은 2 자유도를 갖는 3개의 손가락과 4자유도의 매니플레이터가 있으며, 이를 구동하기 위한 로봇 컨트롤러가 있다. 그리고 영상의 정보를 받기위한 영상 입력 장치, 그리고 획득된 영상 정보를 처리하고 제어 알고리즘을 수행할 Host PC로 구성이 된다.

로봇의 머리부분에 있는 2개의 CCD카메라를 이용하여 이미지 캡처 보드(Matrox Mereo2)로 영상 정보가 보내지면 Host PC에서 이 정보를 사용하여 특정 물체의 크기와 모양을 계산하게 된다.

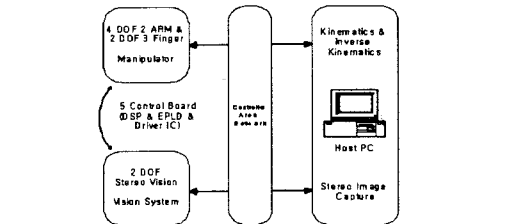


그림 1. 제안된 로봇 시스템 구성도.
Fig. 1. Proposed robot system configuration.

2. Stereo vision

본 실험에 쓰인 로봇은 특정 물체를 인식하기 위해 색 기반(Color based)의 방법을 쓴다. 물체의 색은 표면의 다양한 반사각으로 인해 2차원 표현된 영상정보는 정규 분포에 가까운 색의 분포를 띄게 된다. 이때 각 분포를 Labeling한 후, 특정한 색의 분포만을 이용한다. 실험체로부터 특정 물체 간의 거리는 거리를 계산하는 알고리즘에 따라 계산 되어 지고, 이때의 거리와 영역을 통해 면적을 알 수 있으며, 또한 영역을 통

해 모양을 알기 위해 얼마나 원형에 가까운가를 판별할 수 있는 원형도 판별식 (1)을 이용하여 모양을 결정한다[4].

$$e = \frac{4\pi A}{l^2} \quad (1: \text{둘레의 길이, } A: \text{면적}) \quad (1)$$

거리를 구하는 알고리즘은 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 stereo-vision system을 통해 좌표를 구하는데 있어 로봇의 정확한 시야 확보에 좀더 우수한 parallel method를 사용하였다[5]. 각 CCD를 물체의 방향으로 회전하여 영상을 획득한다. 이를 위해 초소형 정밀 DC 모터를 이용한다. 로봇에서 취하고자 하는 물체간의 거리는 각 CCD카메라의 회전 각도와 CCD카메라 간의 거리를 통해 물체의 3차원 coordinate상의 위치를 계산함으로써 알 수 있다.

3. Manipulators and end-effector

본 실험에 사용된 로봇은 구조를 효과적으로 하기 위해 골격형(exoskeleton)으로 하였다. 또한 로봇 매니플레이터는 양팔로 구성되어있으며, 각각은 4자유도를 갖고 2링크의 3개의 손가락으로 제작되었다. 또한 이를 구동하기 위해 stereo vision system의 구동부와 마찬가지로 정밀한 제어를 위해서 TI(Texas Instrument) DSP(TMS320LF2407)을 사용하여 구동하여 손가락 및 팔 부분의 원활 한 동작을 수행하도록 하였다.

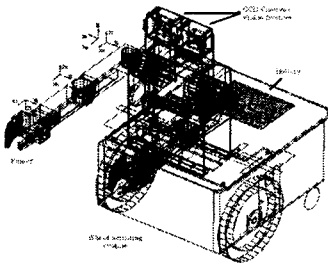


그림 2. 제안된 로봇 시스템의 기준 좌표계.

Fig. 2. Reference coordinates of proposed robot system.

그림 2와 같은 구조의 로봇을 구성하였으며, 로봇 매니플레이터의 기준 좌표계는 그림과 같다. 그리고 로봇 매니플레이터의 workspace는 그림 3과 같으며, 최대 반경은 45cm이며 어깨부의 구동부는 팔을 뻗을 때의 최대 하중을 견딜 수 있도록 설계하였다.

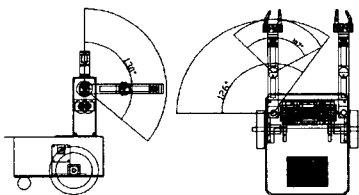


그림 3. 좌측 및 위에서 본 작업 공간.

Fig. 3. Workspace of left-side and upper-side.

그림 2와 같이 기준 좌표계를 설정하고, 이를 Denavit-Hartenberg algorithm에 필요한 각 parameter는 다음 표 1과 같다[6].

Link i	θ_i	a_i	α_i	d_i
1	θ_1	$-\frac{\pi}{2}$	0	d_1
2	θ_2	0	α_2	0
3	θ_3	0	α_3	0
4	θ_4	$\frac{\pi}{2}$	0	d_4

표 1. D-H 변수.

Table 1. D-H parameters.

표 1의 D-H 변수를 사용하여 공구좌표계로 표현하게 되면 (2)와 같은 동차변화 행렬을 구할 수 있다.

$${}^0H = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 [n, s, a]는 방향성분이고, [p]는 위치성분이고 4번째 row 성분 중 1-3 칼럼은 투영, 마지막 칼럼은 scale성분이 된다. 위치 성분의 값을 이용하여 end-effector가 위치하기 위한 각 관절의 구동 값을 알 수 있다. 이를 위해 다음의 수식(3)을 계산하여 역기구학을 수행한 결과는 표 2와 같다.

$$\begin{aligned} n_x &= c_1c_2c_3c_4 - s_1s_2s_3s_4 - c_1c_2s_3s_4 - c_1s_2c_3s_4 \\ o_x &= -s_1 \\ a_x &= c_1c_2c_3s_4 - c_1s_2s_3s_4 - c_1c_2s_3c_4 - c_1s_2c_3c_4 \\ p_x &= -d_1s_1 - a_2c_1c_2c_3 - a_2c_1s_2s_3 + a_2c_1c_2 \\ n_y &= s_1c_2c_3c_4 - s_1s_2s_3c_4 - s_1c_2s_3s_4 - s_1s_2c_3s_4 \\ o_y &= c_1 \\ a_y &= s_1c_2c_3s_4 - s_1s_2s_3s_4 - s_1c_2s_3c_4 - s_1s_2c_3c_4 \\ p_y &= d_1c_1 - a_2s_1c_2c_3 - a_2s_1s_2s_3 + a_2s_1c_2 \\ n_z &= -s_2c_2c_4 - c_2s_2c_4 - s_2s_2s_4 - c_2c_2s_4 \\ o_z &= 0 \\ a_z &= -s_2c_2s_4 - c_2s_2s_4 - s_2s_2c_4 + c_2c_2c_4 \\ p_z &= -a_2s_2c_3 - a_2c_2s_3 - a_2s_2 + d_1 \end{aligned} \quad (3)$$

Link i	Solution
1	$\theta_1 = \cos^{-1} o_x$
2	$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\beta(a_2 + a_2c_2) - \alpha(a_2s_2)}{\alpha(a_2 + a_2c_2) + \beta(a_2s_2)} \right)$
3	$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{\alpha^2 + \beta^2 - \alpha_2^2 - \alpha_3^2}{2\alpha\alpha_2} \right)$
4	$\theta_4 = \cos^{-1} a_2 - \theta_2 - \theta_3$

$\alpha = a_2c_2 + a_2c_2, \quad \beta = a_2s_2 + a_2s_2$

표 2. 역기구학 결과.

Table 2. Result of inverse kinematics.

로봇의 End-effector는 사람의 손가락과 유사하게 구성되었으며, 2링크 3개의 손가락으로 각 링크별 초소형 DC 모터를 사용하였으며, 두 번째 링크는 wire 방식을 사용하였고, 물체를 잡기에 용이하도록 하였다. 물체 획득유무는 모터의 위치를 알기위한 variator의

변화량에 의해 알 수 있다.

로봇 시스템의 구동 알고리즘은 미분 제어 기능의 문제점을 없애기 위해 출력 성분을 이용하여 PI-D형 제어기를 구성하였으며, 동작의 유연성을 보완하기 위해 위치제어와 속도제어를 병행하였다[7][8].

4. Host PC

로봇의 각 부분 동작 명령을 원활히 수행하기 위해 고성능의 퍼스널 컴퓨터를 사용하였다. Intel Pentium 3 800MHz CPU를 사용하였다. Host PC는 3가지 중요한 작업을 수행한다. 첫 번째로 이미지 캡처 보드로부터 받은 영상 정보를 사용하여 물체의 위치, 크기, 모양을 계산한다. 두 번째로 물체의 위치를 사용하여 로봇 manipulator의 역기구학을 계산하고, 각 actuator의 구동을 위한 값들을 추출하고 명령한다. 마지막으로 퍼지 제어를 위한 알고리즘을 수행한다.

5. CAN communication

로봇 매니플레이터의 4개의 드라이버와 머리의 2개의 드라이버 및 Host PC간에 통신의 안정성과 속도를 위해 CAN(Controller Area Network)을 이용하였다. 이 방식은 통신 속도가 높고, 외란에 아주 강한 특성이 있으며, Can-bus방식을 사용함으로써 새로운 장치를 추가할 경우 매우 용이하다.

6. Fuzzy controller

본 실험에 쓰인 로봇에서는 vision system이나 로봇 manipulator의 특성상 조명이나, 물체의 모양에 따른 불명확한 정보로부터 최대한의 수행능력을 위해 퍼지 제어기를 통해 구현하였다. 퍼지 시스템의 일반적인 구성은 퍼지화기, 퍼지 규칙, 퍼지 추론엔진, 그리고 비퍼지화기로 구성이 된다[9][10].

우선 퍼지화기는 크리슘(crisp)한 정보(물체의 거리, 크기, 모양)로부터 추론장치에 사용할 수 있는 퍼지 집합으로 변환한다.

퍼지 규칙은 전문가의 지식 및 경험에 근거하여 구성하게 되며, 퍼지 추론 엔진은 퍼지화기를 통한 퍼지 집합을 입력으로 한 룰 베이스 기반으로 근사 추론을 한다. 본 논문에서는 Minimum-Maximum Method를 사용한다.

마지막으로 비퍼지화기는 퍼지 추론에 의한 결과를 실제 사용을 위해 변환하는 것이다. 본 논문에서는 이를 위해 무게 중심법 (COG : Center of gravity method)을 사용하였다.

III. 연구 내용

1. 제어 알고리즘

본 실험을 위해 퍼지 제어기를 구성하였으며, 입력 변수를 거리, 크기로 하고, 출력 변수를 두 팔의 사용 유무 및 좌, 우 선택으로 한 규칙과, 또 모양과 물체의 기준점에서의 회전 각도를 이용하여 로봇 manipulator

의 end-effector의 회전 각도를 출력 변수로 한 2개의 퍼지 규칙으로 구성하였다.

양안시스템(stereo vision system)부터 받은 영상정보를 이용하여 manipulator의 위치를 계산하고, 로봇이 가지고 있는 2개의 팔을 단독 혹은 동시에 사용하여 물건을 획득할 수 있도록 하였다. 그리고 end-effector의 크기를 고려하여 물체의 중심으로부터 offset을 두었다.

단 물체를 획득할 수 없는 영역, 즉 작업공간을 벗어난 곳은 물체 위치를 제한하였다.

물체를 획득하기 위해서 양팔의 사용 유무를 결정해야 한다. 기준 좌표계의 중심에서 좌, 우 거리와 물체의 기준 위치로 환산한 면적을 사용하여 관측 변수로 하고, 출력변수는 로봇의 양팔 또는 좌, 우 어느 팔을 사용할 것인가를 결정하게 된다. 퍼지 규칙1은 다음과 같다.

Dist Size	LB	LS	BO	RS	RB
LB	LL			RR	RR
LM	LL	LL	FR	RR	RR
LS	LL	LL	BO	RR	RR
ZB	LL	LL	BO	FR	FR
RS	LL	BO	BO	BO	RR
RM	LL	BO	BO	BO	RR
RB			BO		

표 3. 로봇 매니플레이터 두 팔 및 좌, 우 사용을 위한 퍼지 1 규칙.

Table 3. Fuzzy rule 1 for dual or left, right manipulator.

그리고 최종 로봇의 end-effector의 회전 각도를 결정하기 위해 관측변수는 물체의 기준 좌표계에서의 회전각도와 물체의 모양을 계산하기 위한 원형도 결과 값을 사용하였다. 이를 규칙 2로 한다.

Angle Ctr	NB	NM	NS	ZB	PS	PM	PB
PS	NM	NS	NS	FB	PS	PS	ZB
PM	ZB	FM	FR	FR	FB	FM	ZB
PB	FB	FM	FB	FB	PS	FM	FB

표 4. End-effector의 회전 각도를 위한 fuzzy 2 규칙.

Table 4. Fuzzy rule 2 for rotating angle of end-effector.

2. 실험 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 직접 로봇에 적용하여 실제 구동 결과를 알아보았다.

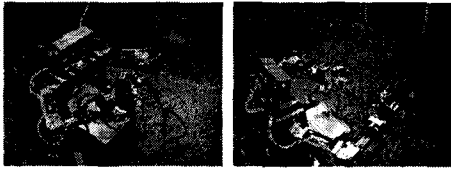


그림 4. 로봇의 물체 획득 장면.

Fig. 4. Grabbing the object.

실제 거리	측정값 평균	실험횟수	표준편차
0.15m	0.1464m	20	0.3726
0.20m	0.2067m	20	0.4638
0.25m	0.2449m	20	0.6728
0.30m	0.2859m	20	0.5514
0.35m	0.3312m	20	0.5448

표 5. 양안 시스템의 거리 인식결과.

Table 5. Result of stereo vision system recognition.

물체종류	원형도(Pixel)	비복사값(Pixel)	원형도
병	3216	298	0.927
계사좌재	4458	276	0.775
삼각형	2765	248	0.574
실험편상 비	5531	357	0.524

표 6. 물체 모양에 따른 원형도 계산 결과 비교.

Table 6. Comparison of object circularity

표5, 6과 같이 반복 실험을 통해 거리와 원형도 인식률을 높여 퍼지 제어기에서 안정적인 제어를 위해 노력하였다.

그림 4는 물체가 로봇의 가운데 있고, 물체 크기가 기준 크기와 유사하므로 두 팔을 사용하는 것으로 결정이 되었다. 그리고 원형도는 사각형에 유사한 값으로 계산이 되고 물체의 회전 각도는 약 8.32°가 나왔다. 그림을 통해 로봇의 end-effector가 물체를 잡고 있음을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구를 위해 2개의 로봇 manipulator와 양안시스템(stereo vision system)을 가진 서비스 로봇을 구성하였다. 실제 구동을 통해 미지 물체의 2차원적 영상 입력과 grabbing시 비 효율적 grabbing point의 계산을 해결하는데 매우 유효함을 알 수 있으며, 다양한 물체를 획득할 수 있음을 확인하였다. 또한 workspace의 영역 내에서 최대한 효율적인 운동을 할 수 있다.

연구과제로는 로봇 manipulator의 자유도를 증가한 성능개선이 필요하고, 입력되는 영상정보에서의 물체 인식의 성능 개선이 필요하리라 본다.

제안된 로봇 시스템은 다양한 환경에 적용하여 사용될 수 있으며, 향후 인터넷을 통한 홈 네트워크와 연계해 가정용으로도 사용이 가능하리라 본다[11].

참고문헌

[1] 이보희, 김진걸, "DSP를 이용한 로봇트 제어 시스템 개발", 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제1권, 제1호, pp. 50-57, 9. 1995.

[2] 유범재, "서비스로봇을 위한 시각 센서 기술", 제어·자동화·시스템공학회지, 제8권, 제6호, pp.11-16, 9. 2002.

[3] 심귀보, "퍼지 보상을 이용한 로봇 매니플레이터의 위치/힘 제어", 한국퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, Vol. 5, No. 3, pp.36-51, 1995.

[4] 강동중, 하중은, "디지털 영상처리", 사이텍미디어, 서울, 2003.

[5] T. Kanade, M. Okutumi, "A stereo matching algorithm with an adaptive window theory and experiment", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, pp. 920-932, 1994.

[6] M. Vukobratovic, M. Kircanski, "Kinematics and Trajectory Synthesis of Manipulation Robots", Springer-Verlag Co., 1986.

[7] Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami-naeini, "Feedback control of dynamic systems", Addison wesely, 1994.

[8] 이해영, "계장시스템에 활용되는 자동제어기술", 화성출판사, 1998.

[9] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control system : Fuzzy logic controller-Part1", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vo.1. 20, pp. 404-418, 1990.

[10] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control system : Fuzzy logic controller-Part1", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vo.1. 20, pp. 419-435, 1990.

[11] 박태현, 강근택, 이원창, "인터넷을 통한 비전기반의 자율이동 로봇 제어", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2708-2710, 2000.

[12] 최정원, 김연태, 이석규, "지능제어기를 이용한 자율 이동로봇의 운항", 퍼지 및 지능시스템 학회 논문지, Vol. 13, No. 2, pp. 180-185, 2003.