

인공 피부 센서를 이용한 물체 인식

Object Recognition Using an Artificial Skin Sensor

이양희*, 0서농수**, 오상록***, 서일홍****, 유범재*****

- *한국산업기술대학교 자동화공학과(Tel:(02)8603-487; FAX:(02)8603-456; E-mail:yhyee@ined.ittc.re.kr)
- **한양대학교 기전공학과(Tel:(0345)408-5802; FAX:(0345)408-5803; E-mail:dssuh@amadeus.kist.re.kr)
- ***한국과학기술연구원 지능제어센터(Tel:(02)958-5757; FAX:(02)958-5749; E-mail:sroh@amadeus.kist.re.kr)
- ****한양대학교 전자공학과(Tel:(0345)400-5172; FAX:(0345)408-5803; E-mail:ihsuh@shira.hanyang.ac.kr)
- *****한국과학기술연구원 지능제어센터(Tel:(02)958-5760; FAX:(02)958-5749; E-mail:bjyou@amadeus.kist.re.kr)

Abstracts : In order to determine the location and orientation of an object edge, a novel type of object recognition algorithm is proposed in this paper by employing a weighted hough transform to process the tactile data of array type tactile sensor. To overcome the limited sensing points of tactile sensor, a virtual sensing point algorithm is also proposed by using a stress curve of elasticity of rubber cover. The proposed algorithm is tested in real experiments by applying it for a 3-DOF robot finger with tactile sensor attached at finger tip.

Keywords : Virtual point, Stress curve, Force value, Weighted hough transform, Artificial Skin Sensor

1. 서론

산업화가 가속화되고 자동화 및 고정밀도의 작업에서 로봇의 역할이 중요하게 되고 로봇의 작업이 높은 정밀도를 필요하게 됨으로써 로봇의 말단효과장치와 다지손에 대한 연구가 활발하게 진행이 되어지고 있다. 특히 말단효과장치와 물체간의 접촉이 이루어지고 있는 상황에서 다중센서를 이용하여 물체를 인식하는 문제는 로봇에게 자율성을 부여한다는 측면에서 더욱 중요하고 이러한 물체인식과 문제에서는 접촉하고 있는 물체의 위치와 방향을 결정하는 것이 가장 기본적이고 중요한 부분이 된다.

이러한 문제를 풀기 위해서 사용될 수가 있는 센서는 시각 시스템, 힘 센서, 접촉 센서등이 있는데 시각 시스템을 이용하여 다양한 방법의 접근이 시도되어지고 있고 현재까지 여러 가지의 문제들을 해결하기도 하였지만 기본적으로 시각 시스템은 물체와 로봇간의 상호 작용으로 생기는 힘에 대한 정보를 전혀 고려할 수가 없다는 문제가 한계로 지적되고 있다. 힘 센서는 로봇이 물체를 가지고 작업을 하거나 예기치 않았던 물체와의 접촉이 생겼을 경우에 힘에 대한 정보를 줄 수가 있지만 시각적인 정보가 없으므로 물체를 모델링하는 것이 상당히 어렵다는 단점이 있다.

그렇지만 접촉 센서는 물체와의 접촉으로 생기는 힘에 대한 정보와 국부적인 시각 정보를 얻을 수가 있다는 장점으로 인해서 지금 활발하게 연구가 진행이 되어지고 있으며 본 논문에서도 접촉 센서를 이용하여 물체를 인식하는 문제를 해결하고자 한다.

사용되고 있는 접촉센서는 KIST 휴먼로봇센터에서 94년부터 이태리[6]와의 공동연구로 개발이 된 것으로써 현재까지의 다른 접촉센서와는 다르게 인간의 손에 보다 유사한 구조를 가지고 있다.

물체 인식이라는 측면에서 보면 현재의 데이터가 모호한 경우 어떻게 해야 할 것인가? 는 매우 중요하고 풀기 어려운 문제이다. 그래서 Dario[6]는 현재의 이용 가능한 데이터를 이용하여서 물체를 인식하는 과정을 4개의 단계로 나누어서 에러를 최소화하여 로봇의 움직임 제어하였고,

Khosla[1,2]는 허프 변환을 이용하여서 접촉하고 있는 상황에서 물체의 에지를 찾아내는 방법을 제안하였다. 하지만 이러한 연구자들의 데이터 처리의 가장 큰 단점은 힘에 대한 정보를 포함하고 있는 데이터를 이진논리에 의한 처리로 인해서 접촉 센서의 장점을 완전히 살리지 못했다는 것이 단점으로 지적되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 8*8의 배열 형태로 되어져있는 접촉 센서를 이용하여서 수직방향의 힘(normal force)에 대한 탄성력(stress)를 이용하여서 그레이 레벨(gray level)에서의 가중치를 적용한 허프 변환을 통한 물체의 에지를 찾아내고 이를 통하여서 3 자유도의 로봇 손가락을 이용하여 직교 좌표계에서 물체의 에지를 모델링하는 문제를 풀고 Khosla[2] 알고리즘과의 비교를 통해서 알고리즘의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 센서 및 로봇 손가락의 구조

2.1 접촉 센서

이태리와의 공동 연구로 제작된 접촉 센서의 가장 큰 특징은 인간의 손에 유사한 구조를 가지고 있다는 것이다.



그림 1 센서의 signal pad

총 접촉점의 수는 64개이고 이것이 8*8의 array형태로 구성되어 있으며 가운데 부분이 접촉점의 수가 많고 외곽은 적은 구조로 되어있다.

센서의 자극점만이 아니라 센서자체의 영역에서도 인간의 손과 유사한 구조를 가지는데 이것은 현재까지 제작된 센서들이 평면에서 2차원적인 구조를 가지는 반면에 3차원의 공간상의 구조를 가진다는 것이 차이점이다. 이러한 구조적 특징을 가지고 있는 센서의 특징으로 인해서 현재까

지의 일반적인 알고리즘을 적용하는데 상당한 문제를 가지게 된다. 이러한 센서의 외관 및 사양을 그림1,2와 표1에서 보였다.

외관	24.36x34.9 mm	감지장소	64
전체면적	850 mm ²	감지면적	432 mm ²
최대해상도	1mm(V) 2mm(H)	최소해상도	3mm(V) 5mm(H)
신호Pad 수	16	신호Pad 면적	2.25 mm ²

표 1 sensor의 사양

일반적으로 적용 가능한 시간센서에서 많이 사용되고 있는 알고리즘은 데이터의 양이 많은 경우에 정확성이 높아 지는데 인공피부센서의 특징상 물리적인 데이터의 양이 적어서 시각 시스템의 알고리즘을 적용하기가 어렵다.



그림 2 센서의 외관

2.2 로봇 손가락의 구조

KIST 2000 프로젝트의 일환으로 만들어진 로봇이므로 손가락의 구조는 그림3과 같이 3개의 관절로 구성되는 손가락 형태를 갖추고 있으며, 각 관절을 구동하기 위한 모터와 관절에 동력을 전달하기 위한 벨트로 구성되어 있다.

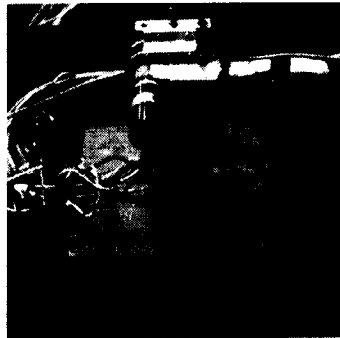


그림 3 제작된 로봇의 구조

각 모터는 일반적인 DC모터에 증가형 엔코더와 하모닉 기어가 부착된 형태로 되어 있다. 이 손가락에 대한 정 기구학과 역 기구학은 다음과 같다.

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} C1C23 & -C1S23 & S1 & L0 + C1(L1 + L2C2 + L3C23) \\ S1C23 & -S1S23 & -C1 & S1(L1 + L2C2 + L3C23) \\ S23 & C23 & 0 & D0 + L2C2 + L3S23 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \text{atan2}(y, x - L0)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(z, c_2)$$

$$\theta_3 = \text{atan2}(z - D0, \frac{x - L0}{C1} - L1) - \text{atan2}(k_2, k_1)$$

여기서

$$k_1 = L2 + L3 \cdot C3 \quad k_2 = L3 \cdot S3$$

$$c_2 = \frac{(\frac{x - L0}{C1} - L0)^2 + (z - D0)^2 - (L2^2 + L3^2)}{2L2L3}$$

$$z = \pm \sqrt{1 - S3}$$

$L1, L2, L3$ 손가락의 첫 번째 링크, 두 번째 링크, 세 번째 링크의 길이이다.

3. 예지 추종 알고리즘

3.1 손가락 제어부

제작된 손가락을 제어하기 위해 Motorola사의 68030을 CPU 보드로 이용하여 VME Bus System상에서 VxWorks 실시간 운영체제를 사용하였다.

CPU보드는 모터의 목표명령 및 상태의 분석을 통한 궤적 계획등에 사용되고, 모터를 직접 제어하기 위해 TMS320C30을 사용하는 별도의 모션제어기를 사용하였다.

이 제어기는 4축의 DC모터까지 동시에 제어가능하고, 사용자가 제어 프로그램을 작성하여 저 수준으로 모터를 제어 할 수가 있도록 실계 제작되어 모터의 제어 명령 및 상태 명령을 64Kbyte크기의 Dual-Port RAM을 통해서 VME 버스상의 다른 CPU와 통신한다. 이러한 시스템의 구성도는 아래와 같다.

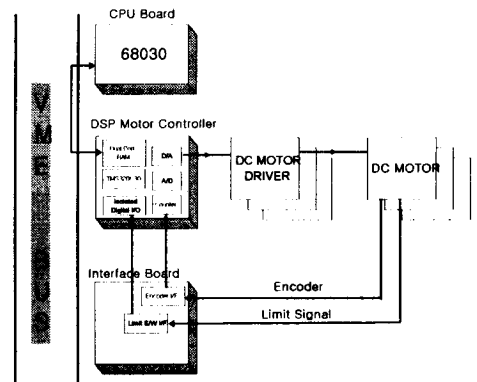


그림 4 손 제어기의 구조

3.2 예지 인식

접촉센서는 접촉점을 보호하기 위해서 센서를 고무로 덮는데 이것이 센서의 분해능을 떨어뜨리는 역할을 하게 되고 시각 센서에서 사용되는 알고리즘을 적용하기가 상당히 어렵게 된다. 이 고무의 단점은 접촉이 없는 부분에도 데이터가 값을 가지게 되는 것인데 이러한 단점을 보완하기 위해서 본 논문에서의 예지 인식 알고리즘은 가상 자극점(virtual sensing point), 고무의 탄성 특성을 이용한 탄성력(elasticity), 가중치 허프 변환(weighted hough transform)의 3단계를 거친다.

3.2.1 가상 자극점

인공 피부센서는 인간의 손에 유사한 특성으로 인해서 데이터를 처리하는데 상당히 어려움이 따른다. 현재까지의 접촉센서들이 정 방향성의 구조를 가지는데 반해서 상대적으로 위치를 가지므로 적은 자극점에도 불구하고 상당히 넓은 영역에서 데이터를 출력한다는 장점이 있는 반면에 정 방향성을 가지는 센서에 비해서 상대적으로 적은 양의 데이터를 출력하는데 이것이 접촉센서를 이용하여서 물체를 인식하는데 커다란 제약점이 되고 있다. 그래서 현재의 8*8로 되어있는 인공 피부센서에 가상 자극점을 설정하고

이 가상 자극점에 고무의 탄성력을 이용하여서 데이터를 추론한다. 그림 5에서 어두운 색으로 표현된 것이 실제의 자극점이고 그 사이의 정 방향점들이 가상 자극점을 나타낸다.

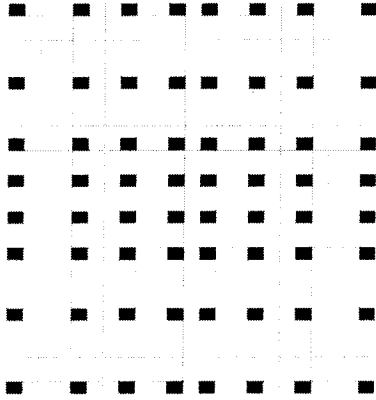


그림 5 가상 자극점

3.2.2 탄성력

센서의 한계를 극복하기 위해서 물리적으로 센싱할 수가 없는 곳에 설정된 가상 자극점의 데이터를 어떻게 처리 할 것인가? 는 중요한 문제이고 이를 해결하기 위해서 고무의 탄성체 성질을 이용한다.

인공 피부센서에 사용되는 고무는 2.5mm의 두께로 되어 있는데 이 고무의 탄성체 성질을 이용하여서 가상 자극점의 데이터를 추론할 수가 있다. 이 추론에는 고무로 생기는 힘에는 stress만 있고 strain은 없다는 가정하에서 성립한다. 수식적으로 탄성력은 stress curve로 정의 할 수가 있다.

$$G(r) = \frac{3Fh^3}{2\pi(r^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$$

여기서 h는 고무의 두께, F는 법선 방향의 힘, r은 자극점간의 거리이다.

이와 같은 수식을 이용하기 위해서 센서의 출력값에 대한 힘과의 관계로부터 법선 방향의 힘을 얻는다. 이의 구체적인 데이터를 그림 6에서 보았다.

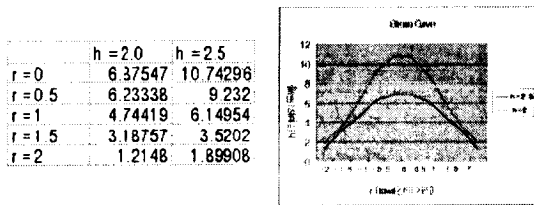


그림 6 가상 자극점의 데이터

3.2.2 가중치 허프 변환

허프 변환(hough transform)은 직선의 방정식을 구하는 데 매우 유용하며 파라미터 공간에서의 특징을 이용하여서 선형 방정식을 푸는 것으로 요약이 될 수가 있다. 즉

$$y = ax + b$$

라는 직선에서 동일한 직선상의 점들은 파라미터 공간에서 같은 a, b를 가지므로 이를 이용하여서 직선의 방정식을 구할 수가 있다. 하지만 이 허프 변환으로는 인공 피부 센서의 데이터를 이용하여서 직선의 방정식을 구하기가 어

려워서 가중치 허프 변환을 제안한다. 즉 파라미터공간상에서 직선의 방정식을 구할 때 교차하는 횟수로 직선의 방정식을 구하는 일반적인 허프 변환과는 다르게 교차점에서 자신이 지고 있는 힘 값을 같이 되돌려서 이 힘의 값이 가장 큰 경우가 직선의 방정식으로 구해진다. 기존의 허프 변환을 수식으로 표현하면

$$H(a, b) = H(a, b) + 1$$

이 되고 가중치 허프 변환은

$$H(a, b) = H(a, b) + F$$

와 같다.

4. 실험 결과

입력 받은 데이터는 아래와 같다.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	15	0
0	0	0	0	24	77	22	0
0	0	37	56	105	7	0	0
0	0	81	39	5	0	0	0
0	0	40	30	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

표 2 입력 데이터

이를 가상 자극점을 이용하여서 확대해서 찾아야 할 직선을 알아보면 다음과 같다.

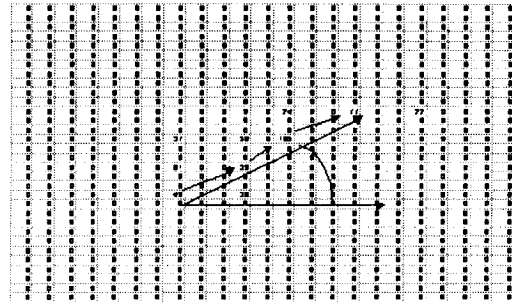


표 3 데이터의 형태

그림에서 사선으로 이어진 것이 센서위에 접촉이 이루어진 물체로 인해서 생기는 데이터의 형태이고 긴 사선이 구해야 할 직선을 나타내는 것이다.

이것을 Khosla[1,2]의 알고리즘을 적용하여 찾아진 직선의 방정식을 알아보면

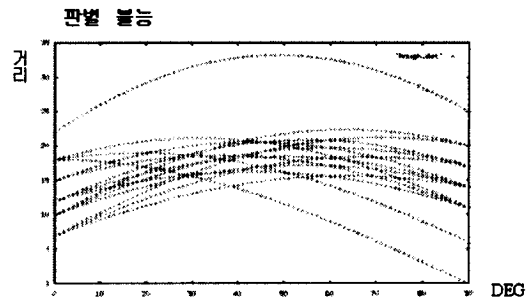


그림 7 Khosla 방식의 hough transform 와 같다. 이것은 잘못된 직선의 방정식을 찾은 것이 되

고 결국에는 로봇에게 잘못된 경로의 데이터를 전해주게 되지만 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 같은 데이터를 가지고 한 실험의 결과는 아래와 같다.

Radius is 18.300000 Theta is 45

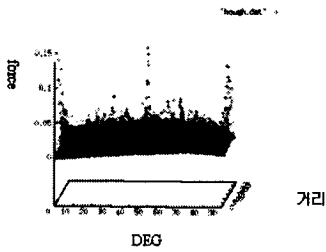


그림 8 weighted hough transform의 결과

이것은 정확한 직선의 방정식을 찾아서 로봇에게 정확한 경로데이터를 주게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 로봇 손을 이용하여 정교한 작업을 수행토록 하기 위하여 로봇 손에 접촉센서를 장착하고 이를 이용하여 물체를 인식하는 알고리즘을 제안하였다. 다루고자 하는 물체의 에지 정보를 추출키 위하여 접촉센서를 이용하여 접촉데이터를 얻고 이를 처리하는 알고리즘으로서, 한정된 접촉 점수로 인한 한계를 해결하기 위하여 접촉 센서를 덮고 있는 고무 커버의 탄성식을 이용하여 가상 자극점 알고리즘을 제안하였고 이를 가상 자극점 및 실제 자극점에서 느끼는 힘의 값을 이용하여 접촉된 에지의 방향을 결정하는 Weighted Hough Transform을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 8*8 array type tactile sensor를 장착한 3자유도 로봇 손에 적용하여 타당성을 입증하였다.

참고문헌

- [1] A. D Berger and P. K. Khosla, "Using tactile data for real-time feedback," The International Journal of Robotics Research, 10(2) pp88-102, 1991
- [2] A. D Berger and P. K. Khosla, "The modified adaptive hough transform" The International Journal of Robotic System pp277-290, 1990
- [3] M. Shimojo, "Mechanical filtering effect of elastic cover for tactile sensor" IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol13 No.1 pp128-132, 1997
- [4] S. Timoshenko and J. N. Goodier, Theory of Elasticity McGraw-Hill book company pp354-377, 1951
- [5] R. Andrew Russell, Robot tactile sensing Prentice Hall, 1991
- [6] R. Lazzarini, R.Magni, and P.Dario, "A Tactile array sensor for exploration and recognition" IEEE Conf.