

접촉센서를 이용한 로봇 Gripper 내의 부품의 형상인식

윤지섭, 이재설, 박병석
한국에너지연구소

Recognition of Object in the Robot Gripper using Tactile Sensor

⁰Ji Sup, Yoon; Jae Sol, Lee, Byung Suk, Park
Korea Advanced Energy Research Institute

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a algorithm characterizing the grasp of the randomly fed objects using the tactile sensor. The tactile sensor used is composed of the 10 x 16 arrays of optical sensors and the planar resolution is 1.8 x 1.8 mm². The square and circular plate are used for the investigation of the characteristics of this sensor. The result shows that the measuring performance of the square plate is superior to that of the circular plate. Based upon this result the algorithm for the assembly of the electric plug was developed and was implemented using the mini-robot.

파지력을 달걀 혹은 망치에 가하여 이를 부서뜨리거나 떨어뜨리지 않을 수 있을 것인가? 이는 접촉센서를 사용하여 해결할 수 있을 것이다." [1] 접촉센서는 인간의 피부와 같이 접촉면의 형상 및 파지력을 감지해 낼수있는 두가지 특성을 갖고 있다. 접촉센서는 작동원리에 따라 전기-광학식, 압전식, ferro-electric 방식, 합성고분자를 이용하는 방식 등 [1, 2, 3]이 있으나 본 연구에서는 현재 상업적으로 개발되어 있는 접촉센서들중의 하나인 Lord Co.의 전기-광학식 LTS210 접촉센서의 접촉형상의 감지특성을 조사하였다. 또한 이의 특성을 고려하여 간단한 보조기구를 부착한 전기 plug의 접촉상태를 인식하는 알고리즘을 개발하여 이 알고리즘을 미니로봇에 적용하여 위 부품의 삽입을 실행하였다.

1. 서론

로봇을 이용하여 조립 및 이송등의 작업을 할 때 로봇 gripper가 부품을 파지하고 있는 상태를 로봇에게 인식시켜주는 것은 상당히 중요한 문제이다. 이는 시각시스템을 응용하여 부품형상 및 위치를 인식하여 해결할 수 있으나 보다 직접적인 방법으로서 부품의 접촉상태로부터 위의 정보를 찾아낼수 있는 접촉센서의 응용이 요구되고 있다. "인간이 시각을 마비하더라도 달걀과 망치의 차이점을 인식할 수 있다. 하지만 로봇에게 어떻게 이와 같은 차이점을 인식시켜 적당한

2. LTS210 힘-접촉센서

(1) 구조와 작동원리

본 연구에 사용된 LTS210 힘-접촉센서는 그림 1에서 보는 바와 같이 평면상의 변형치를 감지하는 접촉센서와 X, Y, Z 방향의 힘 및 각 방향의 토크를 감지하는 6축의 힘-토크센서로 구성되어 있다 [4]. 접촉센서는 10 x 16 개의 광학센서로 구성되어 있으며 그 작동원리는 다음과 같다. 그림 2에서 보는 바와 같이 하나의 광학센서는 1.8 x 1.8 mm² 내의 물체를 감지할 수 있으며 한쌍의 LED와 Photo TR 사이에 탄성체 패드 (elastomer pad) 에 부착되어

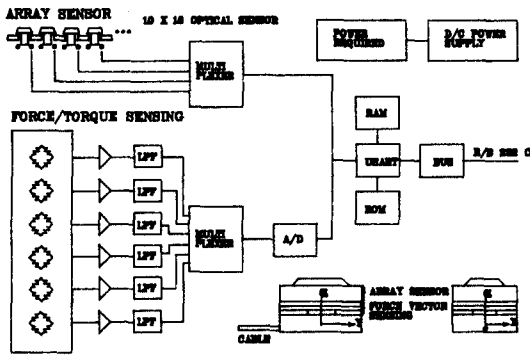


Fig.1 LTS210 force-tactile sensor system

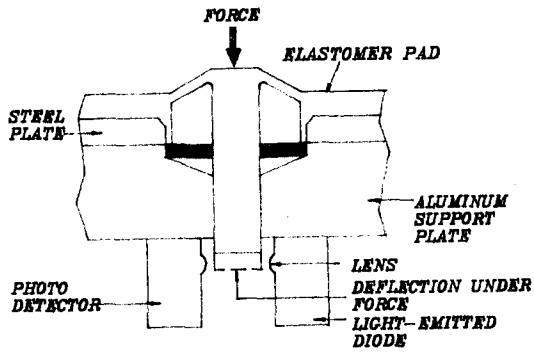


Fig.2 Operational principle of tactile sensor

있는 플라스틱편이 존재한다. 광학센서가 접촉힘을 받아 탄성체패드가 변형되면 플라스틱편이 하강하여 LED에서 Photo TR로 전달되는 빛을 차단하여 변형치에 비례하는 출력전류를 얻어낼 수 있다. 총 160 개의 출력전류는 그림 1 에서 보는 바와 같이 multiplexer에 의해 하나씩 선택되어 A/D 변환기를 통하여 digital신호로 주컴퓨터와 직렬접속(RS-232C) 된다.

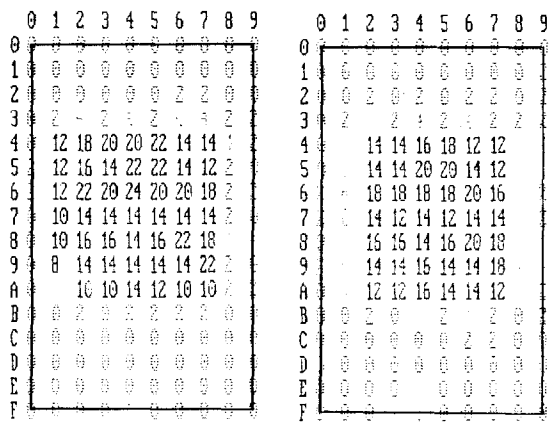
힘-토크센서는 6쌍의 스트레인 게이지로 구성되어 있으며 증폭기와 low-pass filter, multiplexer와 접속된다. 출력신호는 접촉센서와 마찬가지로

A/D 변환기를 통과하여 USART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter)에 의해 주컴퓨터와 직렬접속된다. 힘-접촉센서 시스템은 힘-접촉센서의 동작에 필요한 전원을 공급해주는 Power Supply rack과 USART, BUFFER 및 시스템 구동에 필요한 명령어를 내장하고 있는 ROM, RAM 등을 포함한 접속렉으로 구성되어 있다(그림 1).

LTS210 힘-접촉센서의 감지성능은 표 1 에서 보는 바와 같으며, 주컴퓨터와의 신호전송속도는 최고 38.4K bps이며 9600 bps에서 전송될 경우 160 개의 모든 접촉신호의 전송에는 약 0.2 sec, 6개의 힘-토크 신호를 전송할 경우 약 13.9 msec가 소요된다.

(2) 접촉센서의 감지특성

접촉센서의 감지특성을 조사하기 위하여 넓이 10.8 x 10.8 mm²의 정사각판을 접촉센서에 수직방향으로 압력을 가하여 접촉센서의 출력데이터를 구하였다. 이 정사각판은 7 x 7 개의 광학센서를 작동



(a) (b)
Fig.3 Array data of square plate

표 1. LTS210 힘-접촉센서의 감지 성능

| 최고 측정값 | 접촉센서 | 힘,토크 센서 | | | | | |
|--------|--------|-----------|-----------|----------|---------------|---------------|---------------|
| | | Fx | Fy | Fz | Tx | Ty | Tz |
| | 0.76mm | ±4.5 | ±4.5 | ±5.85 | 13.7kgf-cm | 13.7kgf-cm | 11.4kgf-cm |
| 해상도 | 0.05mm | 0.0045 kg | 0.0045 kg | 0.009 kg | 0.0114 kgf-cm | 0.0114 kgf-cm | 0.0114 kgf-cm |

시키며 이의 출력데이터는 그림 3에서 보는 바와 같다. 그림 3-a로부터 정사각판은 1행 A열, 7행 및 4열의 정사각형면 내에 접촉되어 있음을 알 수 있다. 또한 이 정사각형면 외부의 데이터는 $2 - 4(x \cdot 0.025 \text{ mm})$ 의 변형치를 나타내어 정사각판의 접촉부위와 비접촉부위 사이의 데이터 차이는 상당히 큼을 알 수 있다. 그림 3-b는 그림 3-a 상태에서 정사각판을 x축으로 0.9 mm 이송시켜 접촉시킨 경우의 데이터이다. 이 경우 정사각판은 1행, A열, 8행 및 4열에 접촉되어 있다고 볼 수 있으나 1행과 2행 및 7행과 8행의 데이터는 서로 다른 변형치를 나타냄을 알 수 있다. 이는 그림 4에서 보는 바와 같이 2행 또는 7행의 광학센서를 둘러싸고 있는 탄성체패드가 변형되어 1행 또는 8행의 광학센서도 동작이 되기 때문이며 이와 같은 현상은 반복실험을 통하여 확인되었다. 따라서 그림 3-b에서 접촉부위는 1행과 2행의 사이, A열, 7행과 8행의 사이, 및 4열이 됨을 알 수

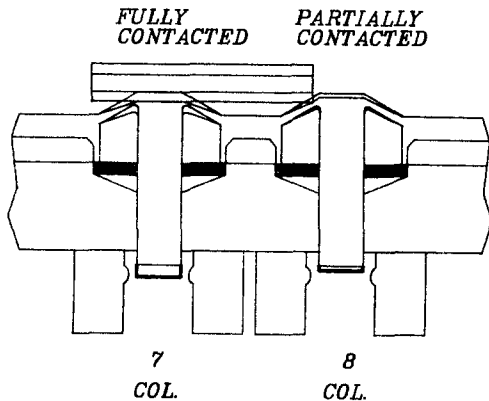


Fig.4 Deflection of elastomer pad

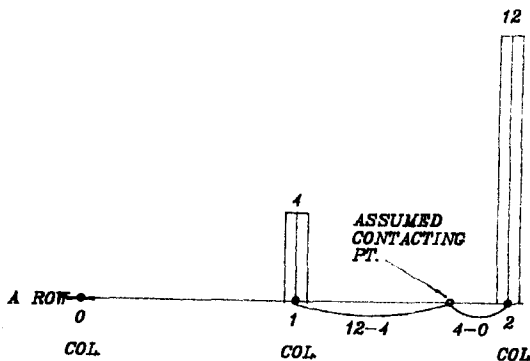


Fig.5 Assumption of contacting position using relative deflection

있다. 따라서 접촉데이터로부터 부품의 접촉형상을 찾아 내려면 접촉데이터를 다음의 두 가지의 경우로 나누어서 고려해야 한다.

- i) 그림 3-a의 A열의 경우: B열은 0 혹은 2를 나타내며 A열과 9열의 변형치의 차보다 A열과 B열의 차이가 크다. 이 경우 접촉부위는 A열로 볼 수 있다.
- ii) 그림 3-b의 1행의 경우: 0행은 0 혹은 2를 나타내며 1행과 2행의 변형치의 차보다 1행과 0행의 변형치의 차이가 작다. 이 경우 접촉부위는 1행과 2행의 사이로 볼 수 있으며 그림 5에서와 같이 두 변형치의 차이의 비로 내분하는 점을 접촉점으로 볼 수 있다. 그림 5는 A열의 0행, 1행, 2행에서의 변형치를 나타내며 접촉부위는 1행과 2행의 사이를 8 : 4로 내분하는 점으로 볼 수 있다.

그림 6은 직경 12.6 mm(1.8 x 7mm)의 원판을 접촉센서에 접촉시킨 데이터이다. 정사각판의 접촉 경우에 비하여 윤곽이 불분명함을 알 수 있다. 이는 접촉센서의 해상도(1.8 x 1.8mm²)에 비하여 전체 광학센서의 수(10 x 16)가 상대적으로 작기 때문이며 원판 또는 임의의 형상을 인식하기 위해서는 광학센서의 수가 훨씬 많아야 함을 알 수 있다.

이와 같은 사실로부터 접촉센서의 감지 특성상의 문제점은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- i) 접촉센서는 탄성체패드의 탄성때문에 비접촉부위에도 변형치가 나타나 이는 접촉부위와의 변형치차이로부터 알아 낼 수 있다.

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | 7 | 10 | 14 | 20 | 16 | 10 | 7 | 0 | 0 |
| 6 | 10 | 16 | 20 | 20 | 20 | 22 | 16 | 7 | 0 |
| 7 | 16 | 14 | 12 | 14 | 14 | 14 | 14 | 7 | 0 |
| 8 | 18 | 18 | 22 | 16 | 22 | 26 | 24 | 9 | 0 |
| 9 | 14 | 14 | 14 | 16 | 14 | 22 | 22 | 7 | 0 |
| A | 10 | 14 | 14 | 26 | 24 | 16 | 16 | 7 | 0 |
| B | 0 | 12 | 16 | 24 | 22 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

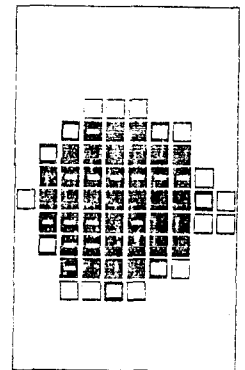


Fig.6 Array data of circular plate

ii) 접촉센서는 해상도에 비하여 전체 공학센서의 수가 상대적으로 작다. 따라서 임의의 형상으로 접촉하는 부품보다는 선 혹은 점 접촉하는 부품의 감지 특성이 우수하다.

iii) 접촉센서를 부착한 로봇 gripper가 편평한 부품을 파지할 경우 두 개의 gripper jaw가 평행하게 구동되어야만 접촉부위의 변형치들이 같아진다.

3. 전기 plug의 삽입

접촉센서의 인식을 용이하게 하기 위하여 그림 7에서 보는 바와 같이 보조기구를 부착한 전기 plug의 삽입에 접촉센서를 응용해본다. 보조기구는 전기 plug와 접촉센서가 1 개의 선과 2 개의 점으로 접촉되도록 설계되었다. 사용된 로봇은 스테핑모타에 의해서 구동되는 3축 mini-robot (Top 1)이며 전체 시스템은 그림 8에서 보는 바와 같다.

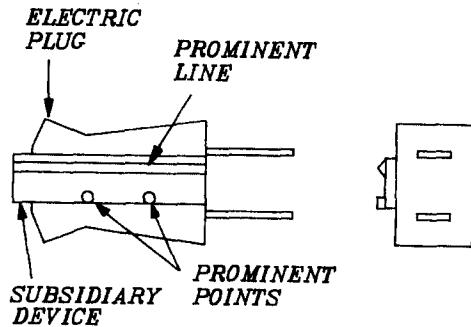


Fig.7 Electric plug with subsidiary device

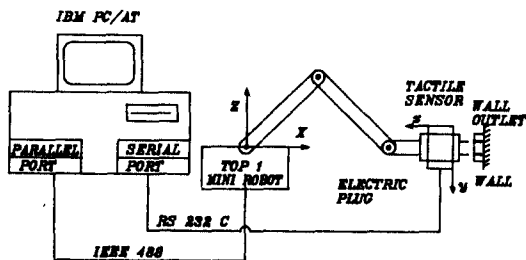


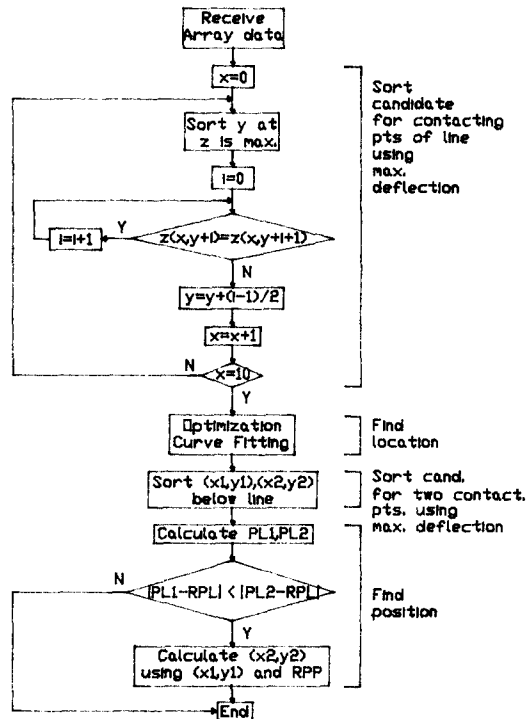
Fig.8 Overall system for electric plug insertion

(1) 인식 알고리즘

접촉센서를 부착한 gripper내에서의 전기 plug의

| | | | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|---|----|----|----|---|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 8 | | | | | | | | |
| 2 | | 10 | 12 | 14 | | | | | | |
| 3 | | | | | 8 | 12 | 12 | | | 0 |
| 4 | | | | | | | | | | 16 |
| 5 | | | | | | | | | | 2 |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | 10 | | |
| 8 | | | | | | | 8 | 12 | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| A | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | | |
| D | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | |

Fig.9 Array data of subsidiary device



Legend

(x,y) : Coordin. of LTS210
 z(x,y) : Deflection at (x,y)
 (x1,y1),(x2,y2) : Coordin. of candidates for first and second contacting pts, respectively
 PL1, PL2 : Distances between two pts. and line
 RPL : Real distance between pt. and line
 RPP : Real distance between two pts.

Fig.10 Flow chart of recognition algorithm

접촉데이터는 그림 9에서 보는 바와 같다. 선 접촉부위는 1열에서 5열까지 점접촉부위는 6열의 2, 3행과 7, 8열의 6, 7행임을 알 수 있다. 이와 같은 데이터로부터 선접촉부위의 기울기와 점접촉부위의 위치를 찾아내어 파지형상과 위치를 로봇 구동장치에

인식시켜준다. 그림 10 에서 보는 바와 같이 인식 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 그림 9 의 접촉대 이타로부터 각 행별로 최고변형치를 갖는 좌표를 구한다. 이 경우 5행의 2열, 3열과 같이 최고변형치가 서로 같을 때는 이들의 y 좌표의 평균값을 찾는다. 이와 같은 방식으로 10개의 최고변형치를 갖는 좌표들을 구하여 이들을 curve fitting 함으로써 선접촉부위의 기울기를 구한다. 또한 2개의 점접촉좌표도 같은 방식으로 구하여 위에서 찾은 직선과 각 점과의 거리를 실제 거리와 비교하여 그 거리의 차가 작은 점으로부터 접촉위치를 찾아낸다. 그림 11은 이의 결과를 나타내며 선접촉부위의 기울기는 16.699° 임을 알 수 있고 첫번째 접촉점과 직선간의 거리가 두 번째의 그것보다 작음을 알 수 있다. 따라서 첫번째의 접촉점으로부터 두번째의 접촉점의 위치를 찾아내었으며 실제거리(7.8 mm)와의 차이는 0.21 mm가 된다.

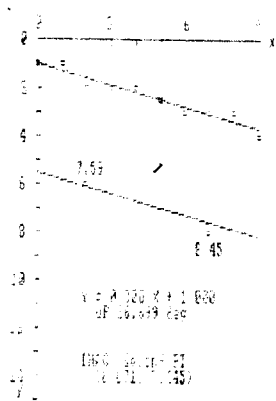


Fig.11 Results of recognition

(2) 삽입

위의 인식결과를 mini-robot에 적용하여 실제 삽입을 다음과 같은 순서로 실행한다.

i) 로봇트 초기 위치의 인식

전기 plug가 삽입이 된 상태에서 로봇트 gripper로 하여금 전기 plug를 파지하게 하여 초기 위치를 인식하게 한다.

ii) 전기 plug의 파지

임의의 위치로 로봇트를 구동시켜 전기 plug를

파지시킨다.

iii) 인식 알고리즘

파지된 각도와 위치를 인식한다.

iv) 좌표변환

접촉센서 좌표계를 로봇트관절 좌표계로 변환한다.

v) 로봇트 손목의 구동

파지된 각도와 반대방향으로 로봇트 손목을 구동시킨다.

vi) 삽입위치로의 이동

파지위치로부터 삽입위치를 계산하여 삽입위치로 로봇트를 구동시킨다.

vii) 삽입

위의 순서에 의한 로봇트의 구동 상태는 그림 12 에서 보는 바와 같으며 삽입결과는 만족할 만하였다. 그러나 전기콘센트에는 전기 plug의 삽입을 용이하게 하기 위한 안내면이 마련되어있기 때문에 ± 0.9 mm의 저해상도를 갖는 접촉센서로도 삽입이 가능하였다. 또한 전기 plug의 삽입에 접촉센서의 인식을 용이하게 하기 위한 보조기구를 사용하였기 때문에 실제작업에 응용되기가 어렵다. 따라서 보다 고해상도를 갖고 보다 많은 수의 공학센서를 조합한 접촉센서의 개발이 요구되며 기존의 접촉센서를 사용하여 임의의 형상의 부품을 인식할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. 현재 본 연구실에서는 이와같은 알고리즘을 개발하여 LTS 210 힘-접촉센서의 응용 문제로 전기기판의 파지상태를 인식하여 이를 슬롯에

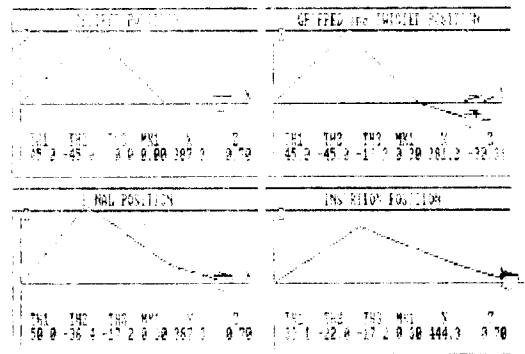


Fig.12 Sequence of electric plug insertion

삽입하는 연구가 진행중이다.

4. 결론

접촉센서의 감지특성을 조사하여 선 혹은 점 접촉하는 부품의 파지상태를 인식하는 알고리즘을 개발하였으며 이를 mini-robot에 적용하여 전기 plug를 삽입하였다. 개발된 알고리즘은 전기 plug의 삽입에 필요한 위치 정밀도를 재현할 수 있으나 보다 높은 해상도를 갖는 인식알고리즘의 개발 및 임의의 형상을 갖는 부품의 인식알고리즘의 개발이 요구된다.

참고 문헌

1. P. Dario and D.D. Rossi, "Tactile Sensors and the Gripping Challenge," IEEE Spectrum, August, 1985, pp.46-52.
2. M.H. Raibert and J.E. Tanner, "Silicon Succeeds in Touch Sensing," Int. J. of Robotics Research, Vol.1, No.3, pp.3-18, 1982.
3. C.D. Harrison, "A Review of Sensor Technology Suitable for the Instrumentation and Applied Physics Division Robots," Research Report of Harwell Laboratory, HL 87/1015(C8), November, 1986.
4. LTS-210 Tactile Sensor Installation and Operations Manual, Lord Corporation, 1987.