

다중센서를 이용한 로봇 손의 파지제어

- Barrett 손을 위한 인공피부센서 및 손제어기의 구현

Grasping Control of a Robot Hand using Multiple Sensors

- Implementation of an Artificial Skin Sensor and a Hand Controller for the Barrett Hand

°이양희*, 서동수**, 오상록***, 박민용****, 이종원***

*생산기술연구원 산업기술교육센터(Tel:(02)8603-487; FAX:(02)8603-456; E-mail:scarobo@chollian.dacom.co.kr)

**한양대학교 기전공학과(Tel:(0345)408-5802; FAX:(02)408-5804; E-mail:dssuh@unitel.co.kr)

***한국과학기술연구원 정보전자연구부(Tel:(02)958-5757; FAX:(02)958-5709; E-mail:sroh@amadeus.kist.re.kr)

****연세대학교 전자공학과(Tel:(02)361-2868; FAX:(02)361-2333; E-mail:mignpark@bubble.yonsei.ac.kr)

Abstracts : The aim of this work for 5 years from 1994 is to develop a multi-fingered robot hand and its control system for grasp and manipulation of objects dexterously. Since the robot hand is still being developed, a commercialized robot hand from Barrett Company is utilized to implement a hand controller and control algorithm. For this, VME based motion control and interface boards are developed and multi-sensors such as encoder, force/torque sensor, dynamic sensor and artificial skin sensor are partly developed and employed for the grasping control algorithm. In order to handle uncertainties such as mechanical idleness and backlash, a fuzzy rule based grasping algorithm is also considered and tested with the developed control system.

Keywords : Hand Control, Fuzzy Control, Sensor-based hand control, Artificial Skin Sensor

1. 서론

자동화 및 고정밀도의 작업을 수행하기 위해 로봇의 말단효과 장치는 다양한 종류의 작업을 처리하는 기능이 요구되며, 이를 위해 다지손에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 다지 로봇 손은 물체와의 접촉점이 증가하므로 보다 안정된 파지(grasping)을 할 수 있고, 다양한 형태의 파지형상을 취해 보다 많은 조작성을 가질 수 있는 장점이 있다. 이러한 다지손을 개발하기 위해 손의 설계 및 제작, 서보제어, 외부센서의 개발 및 파지계획 등의 분야에 대한 연구가 진행되고 있다.

손의 구조에서는 n개의 핑거관절에 각각 양방향의 자유도를

제어하기 위하여 n+1개의 구동기를 사용한 연구[2]와 각관절을 2개의 텐던에 의해 독립적으로 제어하여 3개의 핑거와 1개의 엄지손가락을 갖춘 손을 개발하는 연구[3] 등의 손의 구조에 대한 연구, 손가락의 힘을 제어하기 위한 강성제어, 임피던스 및 하이브리드 제어등을 이용한 서보제어, 그리고 손가락간의 적절한 힘 배치를 위한 접촉위치 및 접촉력등의제어를 위한 파지계획[6]등의 연구가 진행되어 왔다.

하지만 이러한 연구에서는 많은 정보에 대한 분석이 전제되고 있어, 실제 손을 제어하는 경우에 계산식이 복잡하고, 비선형적인 요소에 대한 고려 때문에 실시간 처리에 문제점이 있다. 또한, 능숙한 조작성을 갖기 위해서는 고기능의 센서가 필수적이나 이러한 면에 대한 종합적인 연구가 부족한 면이 있었다.

표 1 기구부의 사양

Table 1. The mechanical specification of the hand

pivot에서 endtip사이의 길이	175 mm
base finger link 길이	70 mm
base의 직경	90 mm
palm의 높이	86 mm
palm narrow width	53 mm
pivot에서 finger base 관절	50 mm
fingertip length	55 mm
base의 높이	52 mm
finger의 너비	25 mm
finger inner link의 기어비	125 : 1
finger tip의 기어비	93.75 : 1
palm의 기어비	17.5 : 1
총 중량	1.18kg

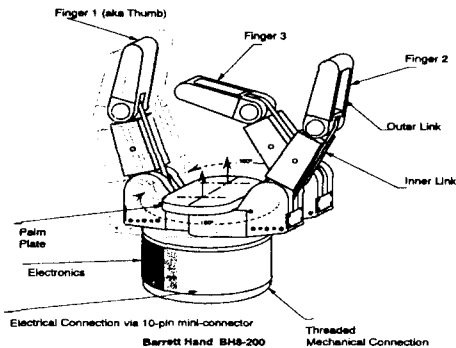


그림 1 Barrett 손의 외관

Fig.1. The view of the Barrett hand

KIST 휴먼로봇연구센터에서는 지난 94년부터 두 손과 두 팔 네 다리를 갖는 인간과 비슷한 로봇을 개발하는 프로젝트를 수행중에 있는데, 본 연구팀에서는 이중 두 손의 개발을 담당하고 있다. 본 연구팀에서 개발코자 하는 로봇손은 각각 4관절을 갖는 3개의 손가락과 손바닥으로 구성되어 있고 손을 이용한 물체의 파지, 조작 등의 성능을 부여하기 위하여 힘/토크센서, 접촉센서, 및 다이내믹 센서등 여러 센서를 장착하게 되어 있다. 현재 손의 기구부는 미국의 로스하임사에서 제작중에 있다.

본 연구에서는 이러한 로봇손의 개발 및 이를 이용한 파지제어 알고리즘의 개발을 목적으로 우선 기존의 상용화 되어 있는 미국 Barrett사에서 개발한 BH8-200 로봇손을 이용하여 다중센서를 이용한 파지제어 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 BH8-200의 기구부만을 이용하고 알고리즘을 실험하기 위한 제어기는 VME 버스에 인터페이스 할 수 있도록 개발하였으며, 다이내믹 센서 및 접촉센서는 이태리와 공동연구를 통해 개발한 피부센서를 사용하였다.

본 논문에서는 현재까지 진행된 연구중 손제어기의 하드웨어 및 사용한 센서에 대해 주로 설명하였고 파지를 위한 퍼지 제어 알고리즘은 현재 실험중에 있으므로 기본개념만 정리하였다.

2. 손의 구조

2.1 Barrett 손의 기구부

BH8-200의 외관은 그림 1과 같으며, 하나의 palm과 세 개의 손가락을 갖고 있다. finger1은 palm에 대하여 고정되어 있으며, palm은 finger2와 finger3의 회전을 담당하고, finger2와 finger3은 피부에 대하여 대칭적으로 180도 회전한다. 각 손가락은 두 개의 관절로 구성되어 있으며, 1개의 BLDC 모터에 의해 동작된다. 각 관절에는 palm과 각 finger가 동작하며, 기어와 텐던을 통해 각 관절로 동력이 전달된다. 하나의 모터가 한 손가락의 두 개의 관절의 동작을 담당하게 되어 기구적 불명확성이 존재한다. 여기에 사용된 기어는 웜기어 형태로 되어있어, 손가락과 물체의 접촉힘이 모터로 역전달이 안되는 구조로 손가락에 강한 강성을 갖고 있다. 손 BH8-200의 기구부적 사양은 표1, 표2와 같다.

표 2. 손의 출력 및 동작영역

Table 2. The outline and operation range of the hand

출력	figertip force	40N
	machanical break-away fuse	100N
	최대실용부하	200N
	palm pushing capacity	1000N
동작 속도	palm open/close 최대속도	0.5 sec
	finger open/close 최대속도	1sec
동작 영역	finger base joint	135도
	figertip	60도
	palm rotation	180

2.2 모터의 사양 및 동력전달

손가락에 사용된 모터는 brushless DC 모터로 손목부위에 설치되어 있으며, 이 동력에 의해 기어 및 텐던에 의해 제1, 제2관절이 동시에 움직인다. 이 모터를 동작시키기 위해서는 모터위치에 따라 코일에 적절한 위상신호를 인가함으로써 모터를 회전시킨다. 표 3에 사용된 BLDC모터의 사양을 보였다.

2.3 센서부

2.3.1. 엔코더

자력의 존재유무에 따라 전기신호를 출력하는 특성을 가진 hall 센서를 사용하는 엔코더를 부착하여 손가락 위치를 측정한다

표 3. BLDC모터의 사양

Table 3. The specification of the BLDC motor

자석의 종류	samarium cobalt
회전자 극수	6
권선수	3
중량	79g
최대 토크	10 oz-in
무부하 회전	100rad/sec

다. 이 신호는 120도의 위상차를 가지는 두 신호를 출력하며, 두 신호의 위상 비교 및 펄스수를 계산하여 위치를 계산하는데, 이 엔코더의 특성이 120 pulse/rev이나 하드웨어를 부가하여 360 pulse/rev갓도록 설계하였다.

2.3.2 접촉힘 센서

접촉력을 감지하기 위한 strain guage가 브리지 형태로 각 핑거의 링크 내부에 부착되어 있어, 외부 접촉힘 변화에 따른 저항의 변화를 증폭기와 12bit A/D convertor를 통해 측정한다.

2.3.3 파지센서

물체를 파지하는 과정에 있어 접촉력 뿐만이 아니라 파지 상태도 매우 중요하다. 파지 형태를 알기 위하여 이태리와 공동연구를 통해 개발한 센서를 사용하였다. 이센서는 접촉힘의 동적인 힘의 변화를 감지하는 다이내믹센서와 힘의 분포를 파악할

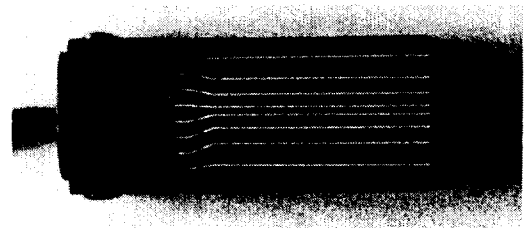


그림 1. 접촉센서를 장착한 fingertip.

Photo. 1. KIST tactile sensor on the fingertip

표 4. 접촉센서의 사양

Table 4. KIST tactile sensor physical characteristics

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

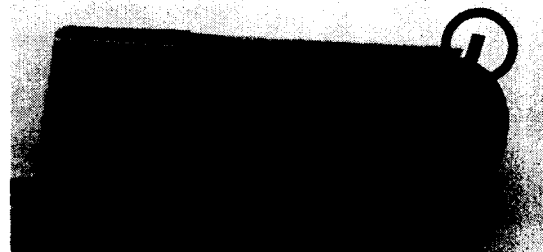


사진 2. 다이내믹 센서를 장착한 fingertip

Photo. 2. Dynamic sensor mounted on the fingertip

표 5. 다이내믹 센서의 사양
Table 5. KIST dynamic sensor physical characteristics

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

수 있는 피부센서로 구성되어 세 손가락 끝에 부착되었으며, 손가락 끝에 마찰력과 다이내믹 센서를 위해 고무가 사용되었으며, 각 센서의 형태는 사진1과 사진2와 같고, 그 사양은 표 4와 표5에 나타나 있다.

3. 파지 제어

3.1 손 제어기의 하드웨어 구성

손을 제어하기 위해 사용된 제어기는 68030 CPU를 사용하는 VME BUS시스템에 VxWorks 실시간 운영체제 환경에서 동작하도록 설계되었다. Palm과 각 손가락을 제어하기 위한 제어보드와 센서 인터페이스부, 그리고 이를 총괄적으로 제어하기 위한 CPU부로 구성되어 있으며, 목표의 속도 명령을 추종하기 위한

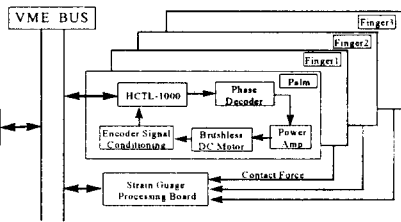


그림 2. 손 제어기의 구성

Fig 2. The structure of the Hand Controller

속도제어기의 구성도가 그림 2에 나타나 있다.

각 보드는 하나의 손가락의 동작을 제어하고 있으며, CPU에서의 속도 명령에 따라 내부적으로 PID 제어를 이용한 하드웨어적인 속도제어기를 구성하였다. 또한 모터에 전력을 인가하기

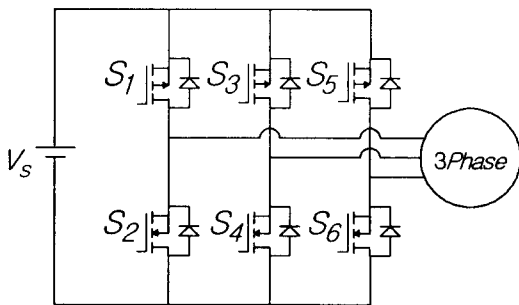


그림 3. 3상 모터 드라이버

Fig 3. 3 phase motor driver

위한 회로는 그림 3와 같으며, Palm과 각 손가락을 제어하기 위해 각 모터의 3개의 코일에 전기적으로 120도의 위상차를 갖는 3개의 전류를 인가함으로써 모터의 회전이 이루어진다. 모터에 동력을 공급하기 위해 Motorola사의 MPM3003을 사용하였고, 모터를 제어하기 위해 Hewlett-packard사의 HP1100을 사용하였다. 먼저 모터 엔코더의 출력을 회전자의 위치/속도를 파악한 후, 목표위치/속도에 따른 3상 출력신호와 duty 비가 변하는 20kHz의 PWM파형을 출력한다. 이 신호를 모터를 동작시키는 스위칭소자에 맞는 신호로 변환하여 모터드라이버에 인가하여 모터의 토크를 발생시킨다. 이에대한 제어신호의 위상과 이에따른 드라이버 입력의 파형은 그림 4와 같다.

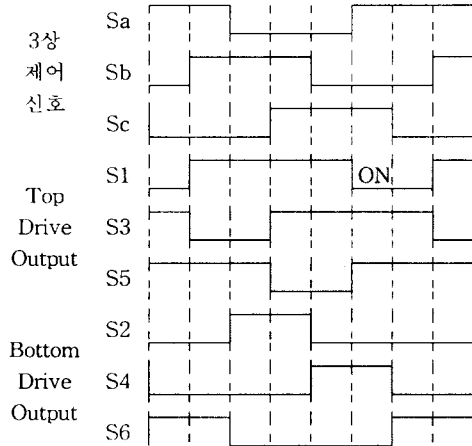


그림 4. 3상 드라이버 입력 파형

Fig 4. 3 phase driver input waveform

3.2 제어 알고리즘

물체를 파지하기 위해서는 손가락의 파지자세 뿐만 아니라, 대상물체의 손상없이 파지할 수 있도록 손가락의 강성을 제어하여야 한다.

본 연구에서는 피부센서를 이용하여 파지시 존재하는 힘을 측정하여 적절한 파지를 구현하는 방법을 실험한다. Barrett 손은

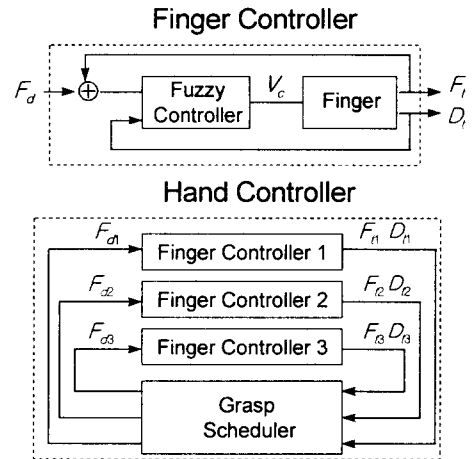


그림 5. 손가락 및 손 제어기의 구조

Fig. 5 The finger controller and the hand controller

여유자유도를 갖고 있어 물체를 파지하기위한 힘을 작용할 수 있으나, 손가락 끝의 위치를 정확히 측정할 수 없는 단점이 있다. 이를 위해 비선형 및 불확실한 특성을 가지는 모델에 유연한 특성을 가지는 퍼지제어기를 사용함으로써 강성의 비선형적 특성을 조정하고자 한다.

손이 물체를 잡기위한 손가락 제어기를 그림 5와 같이 설계한다. 실제 물체를 잡기 위해서는 모든 손가락이 협조가 되어야 외란에 대해서도 파지상태를 유지할 수가 있다. 따라서 각 손가락의 상태에 따라 각 손가락의 목표힘을 조정하는 파지계획기(Grasp Scheduler)가 필요하다. 이 파지계획기는 외부힘의 상태에 따라 각 손가락이 작용해야 할 힘을 결정한다. 이 힘을 결정하기 위해서는 손의 위치, 방향, 마찰력 등을 계산하여 결정하여야 하나, 이러한 과정은 많은 해석과 계산시간을 필요로 하기 때문에 보다 지식 제어방법인 퍼지제어기로 이를 구현하고자 한다. 따라서 이 손가락 퍼지제어기는 목표힘(F_d)과 현재 접촉힘(F_c)과의 오차 및 다이내믹 힘(D_c)값으로 손가락이 움직여야 할 속도값(V_c)을 퍼지규칙에 따라 결정한다.

먼저 각 손가락이 파지를 유지하여야 할 힘을 계산하여야 한다. 각 손가락이 파지를 유지하기 위해서는 각 손가락이 받는 힘이 외란과 균형을 이루어야 한다.

$$F_1 + F_2 + F_3 = F_{ext} \quad (1)$$

$$F_{min} \leq |F_1| + |F_2| + |F_3| \leq F_{max} \quad (2)$$

(F_i : 각 손가락이 받는 힘, F_{ext} : 외란힘)

이를 각 손가락이 유지하기 위한 힘의 형태로 변환하기 위해 x와 y축으로 힘을 분해하여 식(1)과 식(2)를 만족하는 적절한 힘을 계산한다.

파지 계획기에서 계산된 손가락 힘은 손가락 제어기의 목표값이 된다. 손가락 제어기는 하드웨어적으로 속도제어기를 갖추고 있으며, 입력변수는 힘 오차와 다이내믹 센서값이고, 이에 따른 출력값은 속도값이다. 각 변수의 퍼지화를 위해 사용된 소속함수는 NB(Negative Big), NS(Negative Small), ZO(Zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big)이다(그림 6).

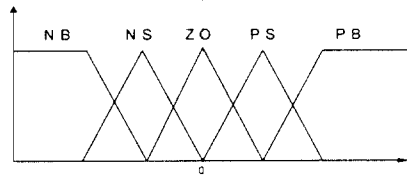


그림 6. 입력변수의 소속함수

Fig 6. The membership function of the input variable

PS(Positive Small), PB(Positive Big)이다(그림 6).

손가락 제어기에 사용된 제어규칙은 IF-THEN 퍼지제어 규칙을 설정하였고, 이 결과를 퍼지추론법을 이용하여 비퍼지화 과정을 거쳐 제어속도 V_d 를 계산한다.

$$\begin{aligned} R_1: & \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } z \text{ is } C_1 \\ R_2: & \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } z \text{ is } C_2 \\ & \dots \\ R_M: & \text{IF } x \text{ is } A_M \text{ and } y \text{ is } B_M \text{ THEN } z \text{ is } C_M \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 x, y 는 입력변수이고, z 는 제어출력변수이다. 또한

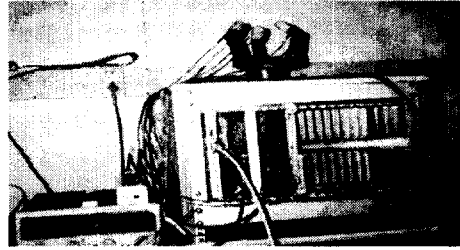


사진 3. 실험 세트

Photo. 3. The experiment setup

A_1, A_2, A_3 는 소속함수이다.

이러한 비퍼지화 방법을 사용하여 가장 적합한 제어명령을 찾아낸다.

3.3 실험

사진1에 본 연구에서 제작한 손제어기의 VME bus용 모터 드라이버 보드 및 실험세트를 보였다.

현재 이 실험장치 및 제어기를 이용하여 3.2절에서 제안한 퍼지제어 알고리즘을 실험중에 있다.

4.결론

본 연구의 궁극적인 목적은 다지 손을 개발하여, 기구부의 형상보다는 환경과의 접촉에 따른 정보를 이용하여 물체를 파지하는 일반적인 알고리즘을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 상용화된 손에 기본적인 알고리즘을 개발·적용하여 1차적으로 그 타당성을 검토하고, 이를 차후 개발된 손에 적용하고자 한다. 이를 위해 상업화된 Barrett 손 BH8-200의 기구부를 이용하여 연구목적에 적합한 드라이버와 이에 따른 속도제어루트를 하드웨어적으로 구성하였고, 여기에 퍼지제어알고리즘을 적용하여 파지를 위한 제어명령을 계산하여 대상물체를 파지하고자 한다.

참고문헌

- [1] Shimoga, K.B., "Robot Grasp Synthesis Algorithms : A Survey," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 15, No.3, pp230-266, 1996
- [2] Mason, T.M., Salisbury, J.K., "Robot Hands and the Mechanics of Manipulation," MIT Press, Cambridge, MA, 1985
- [3] Jacobson, S.C., Iverson, E.K., Knutti, D.F., Johnson, R.T., "Design of the Utah/MIT Dexterous Hand," *Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation*, pp1520-1532, 1986
- [4] Kerr, J. and Roth, B., "Analysis of multifingered hands," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 4, No. 4, pp3-17, 1986
- [5] Pedrycz, W., *Fuzzy Control and Fuzzy System*, Research Studies Press, 1992
- [6] Yoshigawa, T., Nagai, K., "Analysis of Multifingered grasping and manipulation," *Dextrous Robot Hands*, Springer-Verlag New York Inc., pp187-208, 1990