

Master hand와 slave hand를 이용한 로봇 손의 제어 알고리즘 개발 및 구현에 관한 연구

이 승*, 최경삼, 이종수
 홍익대학교 전기정보제어과

A Study on Development and realization of control algorithm for robot hand using master hand and slave hand

Seung Lee*, Kyung-Sam Choi, Jong-Soo Lee
 School of Electrical Engineering, Hong Ik University

Abstract - We made a master hand which can be used as tool for getting grasping data. By using the data from the master hand, we analyzed grasping patterns of human hands. Based on this analyzed results, we developed an grasping algorithm for some particular hand actions. To develop the above algorithm, we programmed a 3D simulation S/W using Visual C++. And we made a slave hand to prove the validity of the proposed algorithm.



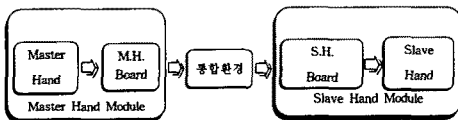
〈그림2〉 Master Hand의 전체적인 모습

1. Introduction

먼저 로봇 손의 메커니즘에 관한 다지 로봇 손의 선행 연구를 알아보자면, tendon cable을 이용한 Utah/MIT hand와 Anthrobot hand를 들 수 있고, 구동부를 로봇 손의 내부에 장착한 Omni hand와 DLR's hand I 등이 개발되었다. 인간의 손과는 유사한 NTU hand와 Gifu hand I, II등을 들 수 있다. [1] 이처럼 다지 로봇 손의 메커니즘은 인간의 손과 유사하도록 발전되어왔다. 요즘 로봇 손의 개발 추세는 손가락의 수는 4~5개, 관절의 수는 16~20개 그리고 크기는 1~1.5배로 인간의 손과 유사한 구조를 가지며 [2] [3], 사람 손의 기능을 최대한 반영할 수 있는 구조로 흐르고 있다. 움켜쥐는 것의 연구동향을 알아보면, Napier는 움켜쥐는 것을 잡는 작업의 관점에서 크게 power grasp과 precision grasp으로 분류하였고 [4], Cutkosky는 물체의 항목을 포함한 것과 Napier의 개념을 도입한 작업의 정밀도에 의해 보다 많은 잡는 형태로 분류하였다 [5]. 그리고, Kamakura는 잡는 물체와 잡는 손 사이의 접촉 형태에 근거하여 분류하였고 [6], Shunji Shimzu는 잡는 힘과 잡을 때 접촉점의 분포에 근거하여 grasp을 분류하였다 [7]. Makoto Kaneko는 원통형의 물체를 잡는 실험을 통해서, 물체의 지름에 따라 잡는 형태가 변한다는 것을 주장했다. [8].

2. 전체적인 시스템 구성 및 동작 개요

이 논문에서 사용한 전체적인 시스템 구성은 〈그림1〉과 같이 크게 master hand module, slave hand module과 통합환경 프로그램으로 구성된다.



〈그림1〉 전체적인 시스템 구성

3. Master Hand Module

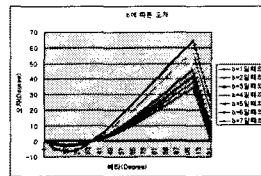
사람의 한 손에는 총 20개의 관절을 가지고 있다. 그래서 master hand는 관절이 움직이는 각도를 알아내기 위해서 20개의 포텐서미터를 각 관절에 상응하게 배치하였다.

Master hand의 설계에 있어서 다음의 두 가지를 제안하였다. 그 하나는 손가락이 구부러짐에 따라 손가락 바깥 부분의 길이가 변하는 것에 대한 보정으로 각 관절의 포텐서미터는 링크로 연결이 되어있다. 이 링크는 손가락이 구부러짐에 따라 변화하는 손가락 바깥 부분의 길이를 보정하게 된다. 다른 하나는 손가락의 포텐서미터를 각 관절의 윗부분에 배치한 것으로 기본적인 개념은 포텐서미터를 손가락 관절의 바로 위에 위치시킴으로써 관절의 회전각도를 포텐서미터가 직접 측정할 수 있게 하고자한 것이고, 여러 번의 수정을 거친 후에 손가락이 최대로 회전할 수 있는 120°까지는 측정이 가능하게 되었다. 식(1)은 α 와 β 의 관계를 나타내는 식으로 β 는 포텐서미터의 회전각도를 의미하며, α 는 손가락 관절의 회전각도를 나타낸다. 따라서 손가락 관절이 α 만큼 회전을 하게 되면 링크에 의해 포텐서미터는 β 만큼 회전을 하게 된다. 그리고 여기서 구조적인 오차가 발생하며 이를 보정을 하여 손가락의 회전각도를 측정하게 된다. 그리고 이 식(1)을 이용하여 구조적인 오차를 보정한다.

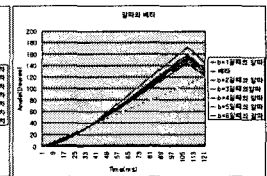
$$\alpha = z - 73^\circ + \cos^{-1} \left\{ \left[\frac{6.3}{c} \sin^2(107^\circ - \beta) \right] \dots \dots \dots \right. \text{식(1)}$$

$$\left. + \sqrt{\left[\frac{6.3 \sin^2(107^\circ - \beta)}{c} \right]^2 - \left[\frac{c^2 + 39.69}{c^2} \sin^2(107^\circ - \beta) - 1 \right]} \right\}$$

아래의 〈그림3-1〉는 b가 1cm에서부터 7cm까지 1cm간격으로 오차를 나타낸 그림이다.



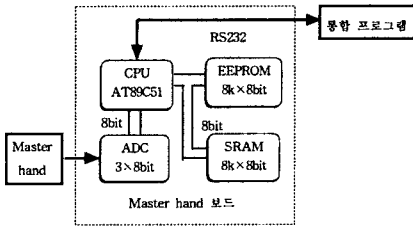
〈그림3-1〉 b의 변화에 따른 오차



〈그림3-2〉 시간에 따른 α와 β의 변화

먼저 α 와 β 의 관계를 살펴보면 〈그림3-2〉에서 알 수 있듯이 α 와 β 가 같아지는 각도는 대략 34°가 되고, β 가 34°가 되기 전에는 α 보다 β 가 더 크다. 따라서 오차는 음의 값을 가지게 되고 이 구간 중에서도 17°보다 작은 구간에서는 서서히 오차가 음으로 커지다가 17°를 넘으면서 다시 오차는 0으로 접근을 한다. 3

4° 이후에는 β 가 증가할 수록 오차가 커지며 β 가 107°을 넘는 순간부터 오차는 급격하게 줄어든다. 다음으로 손가락마디의 길이인 변수b의 변화에 따른 오차를 살펴보면, b가 작을수록 오차는 급격하게 변화를 하고, 그 오차 범위 또한 크게 증가한다. Master hand의 보드는 master hand에서 들어오는 각도에 대한 정보를 AD컨버터를 통해 통합환경 프로그램으로 시리얼 통신을 통해 전달을 하는 역할을 한다.

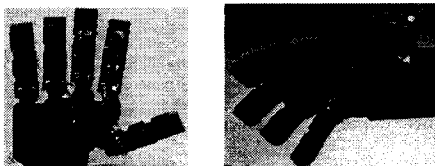


〈그림4〉 Master hand 보드의 블록 다이어그램

이 보드는 AT89C51을 사용하였으며, AD컨버터로는 AD12048이라는 해상도가 13비트, 8채널의 AD컨버터 3개를 사용하고 있으며, master hand에 장착되어 있는 각 포텐서미터에 1개의 채널을 할당하고 있으므로 3개의 AD컨버터로부터 20개 채널을 사용하고 있다.

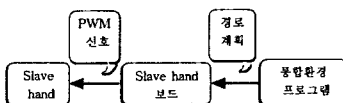
4. Slave Hand Module

본 논문에서 제안하고 있는 slave hand는 사람의 손과 동일한 자유도인 20개의 자유도를 가지도록 설계되었다.



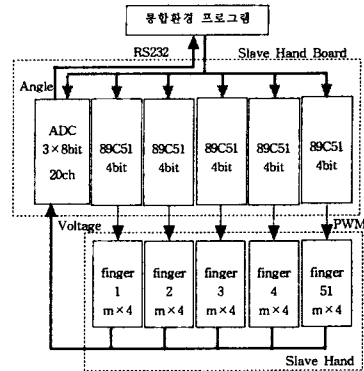
〈그림5〉 Slave hand의 전체적인 모습

Slave hand의 구동부로 Hitec사의 서보 모터 HS-55를 사용하고 있다. slave hand의 손바닥과 손가락의 아래 부분에 고무를 부착하여 물체를 쥐었을 때, 물체의 미끄러짐을 방지하였고, 손끝 부분을 둥글게 디자인을 하여 물체를 잡는데 훨씬 용이하게 하였다. Slave hand는 통합환경에서 경로를 결정하고, 이 정보를 시리얼 통신으로 slave hand 보드에 전송을 한다. CPU는 전송 받은 명령대로 PWM 신호를 발생시키게 되고, CPU에서 나온 PWM 신호는 slave hand에 전송되어, slave hand가 경로계획대로 움직이게 한다. HS-55 서보모터를 테스트해 본 결과 모터의 움직임이 확실하기 때문에 오픈루프제어를 선택하였다.



〈그림6〉 Slave hand 동작의 개요

Slave hand board는 5개의 AT89C51 CPU를 이용하여 멀티프로세서의 구조로 구성되었다. 각각의 CPU는 손가락을 하나씩 담당을 하고 있으며, 각각의 CPU는 통합환경 프로그램에서 전송된 명령에 따라 4개의 PWM신호를 생성해낸다.



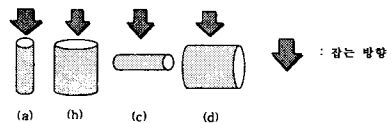
〈그림7〉 Slave Hand Board의 구성도

5. 통합환경 프로그램

통합환경 프로그램은 master hand로부터의 데이터를 가지고 저장, 분석하는 기능과 이 분석을 통해서 유추된 제어 알고리즘의 경로계획을 slave hand에 전송하는 기능이 있으며, 경로 계획을 slave hand에 전송하기 전에 자체적으로 모의실험을 할 수 있는 기능이 있다. 그리고, 통합환경 프로그램은 master hand가 움직이는 동안의 각도 값을 텍스트파일로 저장할 하고, 이 파일을 이용하여 손가락 관절의 회전각도와 어느 관절이 먼저 움직였는가 등의 정보를 알 수 있으며, 텍스트파일로 저장된 정보를 시간 축 상의 각도 값 변화를 각 관절 별로 또는 알고자하는 여러 개의 관절을 동시에 그래프로 볼 수 있다. 그래서, 쉽게 전체적인 움직이는 방법을 알 수 있고, 여기서, 각 실험에 대한 움직이는 방법에 있어서의 각 손가락과 관절의 우선 순위를 결정 할 수가 있다.

6. 실험 및 결과 검토

우선 실험에 있어서의 가정에 대해 말하자면, 본 논문이 제안하는 시스템에는 비전 시스템은 포함이 되어있지 않기 때문에, 피실험자가 물체를 잡을 때 이미 물체에 대한 위치와 모양의 정보를 알고 있고, slave hand가 물체를 잡을 때에도 물체에 대한 정보를 이미 알고 있다는 가정에서 시작한다. 실험에 사용할 물체는 지름이 각각 13cm, 7cm이고, 높이는 대략 15cm인 원통을 사용하였다. 지름이 13cm인 원통은 사람이 한 손으로 잡기에는 약간 힘이 들기 때문에 선택을 하였고, 지름이 7cm인 원통은 사람이 한 손으로 잡기에 수월하기 때문에 선택을 하였다.



〈그림8〉 실험 방법

실험방법은 피실험자가 master hand를 오른손에 장착하고, 물체를 〈그림8〉처럼 각 물체에 대해 물체가 놓이는 자세를 다르게 하여 피실험자가 물체를 잡도록 한다. 이때 물체의 위치는 매번 동일하게 하였고 피실험자의 손의 위치는 바로 물체를 잡을 수 있게 물체의 바로 위에 위치하게 하였으며, 또한 손의 위치도 동일하게 유지하였다. 그리고 master hand의 처음 시작 자세 또한 매번 동일하게 유지하였다. 그리고, 데이터의 신뢰성을 확보하기 위한 한 사람의 피실험자가 네 가지 경우 각각에 대한 실험을 10번씩 반복하여 데이터를 얻었다. 실험 결과를 설명하기 전에 우선 여기에 사용되는 기호

와 명칭을 설명한다. 우선 엄지를 f1, 검지를 f2, 중지를 f3, 약지를 f4, 새끼손가락을 f5라 표현하며, 각 손가락의 관절은 손바닥과 손가락 사이의 관절 중 좌우로 움직이는 관절을 j1, 상하로 움직이는 관절을 j2, 손끝 방향으로 나아가면서 상하로 움직이는 관절을 j3, j4라 표현한다. 실험을 한 결과는 피실험자의 손의 크기와 손가락마디의 길이가 피실험자 마다 각각 다르기 때문에 각 관절의 회전각도는 피실험자 마다 달랐으며, 같은 피실험자라도 물체를 잡을 때마다 비슷하기는 하지만 매번 조금씩은 다른 결과를 나타냈다.

case 1: 지름이 7cm인 원통을 세워서 잡는 경우
이 경우, f1(33.54%), f2(29.12%), f3(30.37%), f4(29.56%), f5의 순서로 우선 순위가 결정되었다. 그리고 관절의 우선 순위는 j1(32.65%), j2(31.17%), j3(29.42%), j4의 순서로 우선 순서가 정해졌다. 전체 grasping time은 662.92ms 이었다.

case 2: 지름이 13cm인 원통을 세워서 잡는 경우
이 경우, f1(31.84%), f5(58.33%), f2(35%), f4(30%), f3의 순서로 우선 순위가 결정되었다. 그리고 관절의 우선 순위는 j1(52%), j2(35.48%), j3(34.48%), j4의 순서로 우선 순서가 정해졌다. 전체 grasping time은 632.28ms 이었다.

case 3: 지름이 7cm인 원통을 눕혀서 잡는 경우
이 경우, f1(30.47%), f2(38.46%), f3(29.41%), f4(40.91%), f5의 순서로 우선 순위가 결정되었다. 그리고 관절의 우선 순위는 j1(46.15%), j2(35.29%), j3(31.58%), j4의 순서로 우선 순서가 정해졌다. 전체 grasping time은 729.56ms 이었다.

case 4: 지름이 13cm인 원통을 눕혀서 잡는 경우
이 경우, f1(34.24%), f2(41.67%), f3(28.57%), f4(30.43%), f5의 순서로 우선 순위가 결정되었다. 그리고 관절의 우선 순위는 j1(52.94%), j2(57.14%), j3(35.29%), j4의 순서로 우선 순서가 정해졌다. 전체 grasping time은 841.8ms 이었다.

7. 제어 알고리즘

위의 실험을 바탕으로 제어알고리즘을 유도하고자 한다. 우선 실험 6.1.1과 6.1.2는 물체의 지름에 따라 손가락의 우선 순위만 다르고, 관절의 우선 순위는 동일하다. 따라서 세워진 형태의 원통형 물체를 잡는 알고리즘은 다음과 같다.

7.1 알고리즘1.

1. 엄지를 왼쪽 아래 방향으로 회전.
2. 물체를 잡기가 수월한가?
수월하다면 3-1번으로, 수월하지 않다면 3-2번으로 이동.
- 3-1. 손가락의 우선 순위를 f1, f2, f3, f4, f5의 순서대로 우선 순위를 부여.
- 3-2. 손가락의 우선 순위를 f1, f5, f2, f4, f3의 순서대로 우선 순위를 부여.
4. 각 손가락의 관절을 j2, j3, j4의 순서대로 아래 방향으로 회전.
5. 각 손가락의 j4로 물체를 고정.

다음으로 실험 6.1.3과 6.1.4는 손가락의 우선 순위와 관절의 우선 순위가 동일하기 때문에 같은 경우로 다룬다. 따라서 눕혀진 형태의 원통형 물체를 잡는 알고리즘은 다음과 같다.

7.2 알고리즘2.

1. 엄지를 왼쪽 아래 방향으로 회전.
2. 손가락의 우선 순위를 f1, f2, f3, f4, f5의 순서대로 우선 순위를 부여.
3. 각 손가락의 관절을 j2, j3, j4의 순서대로 아래 방향으로 회전.
4. 각 손가락의 j4로 물체를 고정.

slave hand에 적용할 제어 알고리즘은 위의 실험을 통해 유추된 알고리즘을 slave hand에 적용할 수 있게 알고리즘1.과 알고리즘2.를 통합한 것이다.

7.3 통합 제어 알고리즘.

1. 엄지를 왼쪽 아래 방향으로 회전.
2. 물체가 세워져 있는가?
세워져 있으면 3번으로, 세워져 있지 않다면 4-1번으로 이동.
3. 물체를 잡기가 수월한가?
수월하다면 4-1번으로, 수월하지 않다면 4-2번으로 이동.
- 4-1. 손가락의 우선 순위를 f1, f2, f3, f4, f5의 순서대로 우선 순위를 부여.
- 4-2. 손가락의 우선 순위를 f1, f5, f2, f4, f3의 순서대로 우선 순위를 부여.
5. 각 손가락의 관절을 j2, j3, j4의 순서대로 아래 방향으로 회전.
6. 각 손가락의 j4로 물체를 고정.

8. Conclusion

본 논문에서는 손가락 관절의 회전 각도를 직접 측정할 수 있는 master hand를 제안하였고, 기구학상의 문제로 인해 야기된 오차를 프로그래밍 기법을 이용하여 보상하였다. 그리고 이 master hand를 이용하여 물체를 잡는 몇 가지 제한된 실험을 하였고 이를 통해 데이터를 습득하였다. 그리고 이 데이터를 이용하여 제한된 환경 하에서의 제어 알고리즘을 제안했다. 제안된 알고리즘은 서보 모터를 이용하여 제작한 slave hand에 적용하여 오차 없이 작업을 수행함을 보였다.

[참고 문헌]

- [1]Haruhisa Kawasaki, Tsuneo Komastu, Kazunao Uchiyama and Takashi Kurimoto: "Dexterous Anthropomorphic Robot Hand with Distributed Tactile Sensor: Gifu HandII," Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol. 2, V.2, .1999.
- [2]J. Butterfass, G. Hirzinger, S. Knoch, H. Liu: "DLR's Multisensory Articulated Hand Part I: Hard- and Software Architecture," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.2081-2086, 1998.
- [3]H. Liu, P. Meusel, J. Butterfass, G. Hirzinger: "DLR's Multisensory Articulated Hand Part II: The Parallel Torque/Position Control System," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.2087-2093, 1998.
- [4]J. R. Napier: "The prehensile movements of the human hand," The journal of bone and joint surgery, vol. 38 B, no. 4, pp.902-913, 1956.
- [5]M. R. Cutkosky: "On grasping choice, grasping models, and the design of hands form manufacturing tasks," IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 5, no. 3, pp.269-279, 1989.
- [6]N. Kamakura, M. Matsuo, H. Ishii, F. Mitsuboshi, Y. Miura: "Pattern of static prehension in normal hands," The American journal of occupational therapy, vol. 34, no. 7, pp. 437-445, 1980.
- [7]Shunji Shimizu, Makoto Shimojo, Sigeru Sato: "The Relation between Human Grip Types and Force Distribution Pattern in Grasping,"
- [8]Makoto Kaneko, Yoshiyuki Tanaka and Toshio Tsuji: "Scale-Dependent Grasp," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.2131-2136, 1996.