

# 손 메카니즘을 모사한 휴머노이드 손 설계방법

## Design Method for Humanoid Hand based on Hand Motion Mechanism

\*김형태<sup>1</sup>, 양학진<sup>2</sup>, #김성근<sup>3</sup>, 박경우<sup>4</sup>

\*H. T. Kim<sup>1</sup>, H. J. Yang<sup>2</sup>, #S. K. Kim(kimskun@hoseo.edu)<sup>3</sup>, K. W. Park<sup>4</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 메카트로닉스공학과 대학원, <sup>2</sup>호서대학교 기계공학과 대학원, <sup>3</sup>호서대학교 자동차공학과, <sup>4</sup>호서대학교 기계공학과

Key words : Neural Network, Humanoid Hand, Mechanism, Grasping

### 1. 서론

일반적으로 휴머노이드 손은 단순 작업을 반복하기 때문에 Gripper가 주를 이루고 있다. 그러나 이러한 단순 Gripper는 제작과 제어가 간단한 장점이 있지만, 다른 환경에 대처할 능력이 거의 없다. 하지만 자유도가 많은 손은 구조가 복잡해서 제작이 어렵고, 구동기의 수가 늘어남에 따라 제어에 어려움이 있다. 이를 위해 자유도는 줄이고(DLR II<sup>1</sup>, Gifu hand<sup>2</sup>) 움직임은 사람의 손과 같은 움직임을 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 또한, 구동기 위치를 손 밖이나 팔뚝에 배치하는 방법(Utah/M.I.T hand<sup>3</sup>, Shadow hand<sup>4</sup>)을 사용함으로써 손의 구조는 단순화시키고 구동기의 힘을 높일 수 있는 연구도 진행되고 있다. 하지만 자유도를 줄임으로써 정밀성, 안정성에서는 다(多) 자유도를 가진 손에 미치지 못한다. 이 부분을 보완하기 위해서 사람의 손의 움직임에 대한 연구는 반드시 필요하다. 또, 자유도를 줄여도 사람의 손과 같은 메카니즘을 보이기 위해서는 기구학적인 설계도 많은 연구가 필요하다.

본 논문에서는 최소 자유도로 과거를 할 수 있는 로봇 손의 기구학적 설계를 위하여 신경회로망의 예측 모델을 활용하는 기구학적 설계를 제시한다. 휴머노이드 손의 기구 동작의 신경회로망 학습을 위해서 고속카메라를 이용하여 사람 손의 꺾에 대한 움직임을 촬영하고, 그 움직임을 토대로 학습을 시켰다. 그로 인해 각 관절의 관계에 대한 예측 모델을 구하였고, 사람 손과 같은 움직임을 모사하였다. 휴머노이드 손에 적용하여 최소 자유도로서 안정된 과거를 검증하였으며, CATIA의 DMU Kinematics를 이용하여 검증하였다.

### 2. 손의 움직임 고찰

사람 손은 골격과 그것을 움직이는 많은 근육으로 이루어져 있어서 섬세한 작업을 할 수가 있다. 이러한 섬세한 움직임은 다양한 물체를 과거함에 있어서 강한 과거를 하게 도와준다. 일반손가락은 각 관절마다 1 자유도의 pitch를 가지고 있고, 손허리 관절(MCP)에서 yaw, pitch, roll의 3자유도를 가져 총 5자유도를 가지게 된다.

과거시 복잡한 형상, 작고 정밀한 부품일수록 말절골 움직임은 과거에 중요한 역할을 한다. 그러나 그 움직임을 하나의 구동장치로 모사하기는 쉬운 일이 아니며 손의 움직임을 과거하는 것도 쉽지 않은 일이다. Fig. 1은 각 관절의 움직임을 고찰하기 위하여 각도 변화를 측정하였으며, Table 1은 측정 데이터 중 학습 데이터로 사용하기 위하여 추출한 데이터이다.

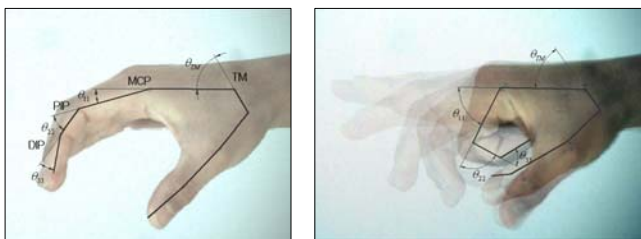


Fig. 1 Geometry of a Human Hand

-  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ ,  $\theta_{33}$  and  $\theta_{44}$  are the joints of MCP(metacaphalangeal), PIP(Proximal Pnterphal-angel and DIP(Distal Interphalangeal), respectively

Table 1 Input and Output Data

Input					Output				
No.	$\theta_{TM}$	$\theta_{11}$	$\theta_{22}$	$\theta_{33}$	No.	$\theta_{TM}$	$\theta_{11}$	$\theta_{22}$	$\theta_{33}$
1	61	34	75	39	18	58	37	89	51
2	62	45	93	52	19	63	36	91	53
3	61	40	90	50	20	59	32	50	36
4	62	34	73	39	21	59	51	97	63
5	61	39	92	52	22	61	15	40	13
6	59	46	84	50	23	61	35	54	31
7	62	26	58	36	24	61	18	30	17
8	59	51	93	50	25	60	23	51	19
9	58	37	85	47	26	61	13	60	32
10	58	52	90	58	27	60	15	53	27
11	60	66	96	50	28	61	9	26	7
12	60	2	5	3	29	61	31	73	41
13	57	48	96	60	30	59	4	5	3
14	61	8	17	10	31	60	8	38	16
15	60	24	68	40	32	61	25	32	24
16	60	21	77	44	33	61	19	33	28
17	60	20	39	28	34	62	27	54	31

### 3. 신경회로망

본 논문에서는 말절골 부분의 움직임에 대해서는 해석적 수식이 적용되기 어려우므로 고속카메라의 실험을 통하여 추출한 각도변화 데이터를 이용하여 신경회로망에 적용함으로써 말절골에 대한 해석 모델을 도출하였다. 신경회로망의 기본 구조는 Fig. 2와 같고, 입력층은 각 관절각도  $\theta_{TM}$ ,  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ 로 구성되어 있으며, 은닉층(Hidden Layer)은 6개로 구성하여 말절골( $\theta_{33}$ )에 대한 학습을 하였다. 각 층의 임계값( $b_j$ ,  $b_k$ )을 첨가하여 수렴성을 좋게 하였고, 전달함수는 Sigmoid 함수를 사용하였다.

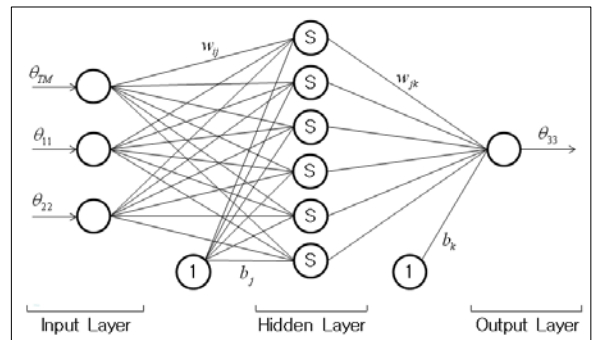


Fig. 2 Structure of a Neural Network

Table 1에 의해서 학습하고, 검증 데이터 중 일부와 검증한 결과는 Fig. 3과 같았으며, 몇 개의 데이터를 제외하고는 약 5% 미만의 오차를 보였다.

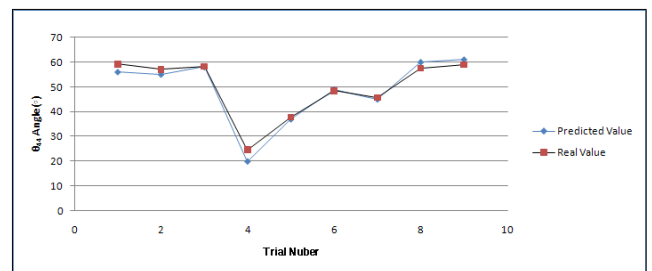


Fig. 3 Comparison between Predicted Value and Real Experimental Value

### 4. 검증

검증에 사용될 휴머노이드 손가락의 길이는 각 손가락의 말절골을 기준으로 비율화한 통계 값을 사용하였으며<sup>6)</sup>, 구동은 Fig. 4 와 같은 구조로 사용하였다.

따라서 말절골을 제외한 나머지 관절  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ 는 고속카메라의 움직임에 그대로 적용하였으며, 말절골의 각( $\theta_{33}$ )은 신경회로망을 사용하여 각도를 도출하였다.

구동시, 도르래 회전각도( $\theta_i$ )는  $\theta_{nn}$ 이 누적이 되어서 진행되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\theta_i = \sum_{n=1}^i (\theta_{nn}) + \theta_0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

첫 번째 마디부분의 도르래와 모터의 비에 의해서 각 관절로 전달한다. 즉, 모터부의 도르래의 지름( $M_i$ )과 첫 번째 마디에 있는 도르래( $D_i$ )의 비에 의해 각 마디의 각도( $\theta_i$ )가 생성된다. 또한, 두 번째 마디 및 세 번째 마디는 다음과 같은 조건을 부여하였다.

두 번째 마디 조건,

$$D_2 = D_4 \quad (2-1)$$

세 번째 마디 조건,

$$D_3 = D_5 = D_6 \quad (2-2)$$

위의 식 (2-1), (2-2)를 만족하면 첫 번째 관절 도르래와 모터도르래의 회전비만을 고려하게 된다. 즉, 모터 회전각도( $\theta_M$ )는 다음과 같다.

$$\frac{M_i}{D_i} = \frac{\theta_i}{\theta_M} \quad (3-1)$$

$$\theta_M = \frac{D_i}{M_i} \cdot \sum_{n=1}^i (\theta_{nn}) + \theta_0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (3-2)$$

- $\theta_M$  : 모터 회전각도
- $\theta_i$  : 도르래 회전각도
- $\theta_{nn}$  : 관절 회전각도
- $D_i$  : 관절도르래 지름
- $M_i$  : 모터도르래 지름

회전비의 식을 적용한 도르래의 각도 변화와 고속카메라의 촬영데이터( $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ ) 비교하면 Fig. 5 의 (a), (b)와 같은 결과를 얻었으며, 그래프에서와 같이 촬영데이터와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ 의 데이터를 신경회로망에 적용하여  $\theta_{33}$ 을 구하여  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{22}$ 와 같은 방법으로 회전비의 식을 적용하였다. 이때 신경회로망에 사용되었던  $\theta_{TM}$ 은 휴머노이드 손이 사람 뼈의 구조와는 다소 차이가 있기 때문에  $\theta_{TM}$ 의 평균값인  $60^\circ$ 를 사용하였다. 그 결과  $\theta_{33}$ 의 움직임은 Fig. 5 의 (c)와 같았고 그 결과를 토대로 종이컵을 파지하였을 경우를 실험 하였다.

Fig. 6 과 같이 사람이 종이컵을 파지할 때의 동작과 매우 흡사하다.

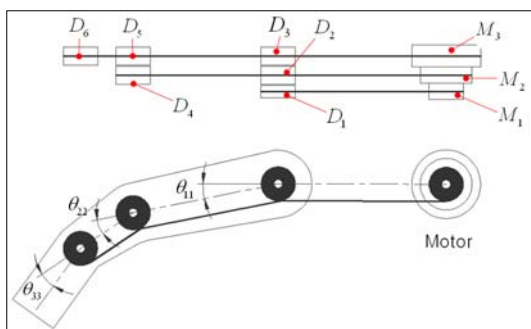


Fig. 4 Link Structure

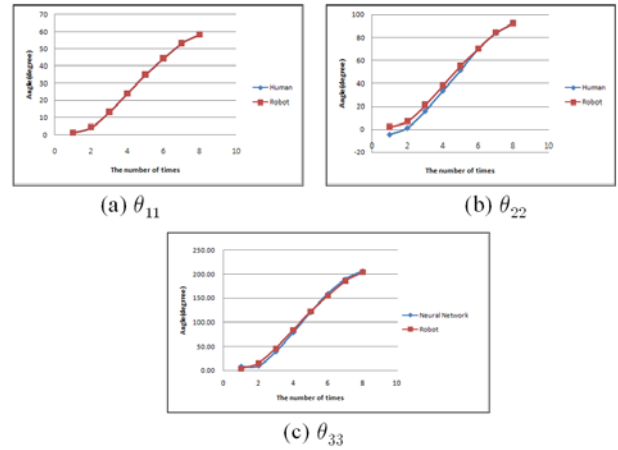


Fig. 5 Comparison between Angle of Hand joint and Rotation Ratio of Pulley

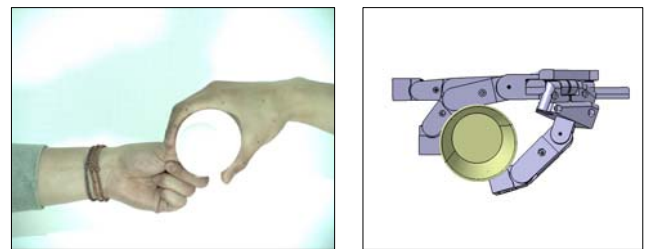


Fig. 6 Grasping Motion of Cup

### 5. 결론

본 논문에서는 손의 쥐 운동을 고속카메라로 촬영하여 각 관절의 각도 변화데이터를 얻었고, 그 데이터를 신경망에 적용하여 말절골의 움직임을 예측하였다. 그 결과 값을 휴머노이드 손에 적용하여 종이컵을 파지하였을 때의 경우를 관찰하였다. 그 결과, 사람 손과 같은 움직임으로 파지 형태를 보였으며, 안정된 파지를 보여주었다. 파지외의 다양한 작동을 하기 위해서는 다(多) 자유도가 가능한 휴머노이드 손 설계 방법이 필요하다.

### 참고문헌

1. Butterfass, J., Grebenstein, M., Liu, H. and Hirzinger, G., "DLR-Hand II: Next Generation of a Dexterous Robot Hand," proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 109-114, 2001
2. Kawasaki, H., Komatsu, T. and Uchiyama, K., "Dexterous Anthropomorphic Robot Hand With Distributed Tactile Sensor:Gifu Hand II," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.7, No.3, 296-303,2002
3. Jacobsen, S. C., Iversen, E. K., Knutti, D.F., Johnson, R. T. and Biggers K.B., "Design of the Utah/M.I.T Dexterous Hand," proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1520-1532, 1986
4. Lovchic, C. S., Diftler, M. A., "The Robonaut Hand," A Dexterous Robot Hand for Space," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 907-912, 1999
5. Jong-Hwan, C., "A Study on Control of Stable Grasping Motion for Finger Robot," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 30,428-437, 2006
6. 임영일, "인간의 손과 로봇 손," 대한기계학회 춘계학술대회 강연집C, 41-50, 2000.