

로봇 핸드 제어를 위한 센서 기반 손 동작 인식

황면중^{1*}

¹한라대학교 기계자동차공학부

Sensor-based Recognition of Human's Hand Motion for Control of a Robotic Hand

Myun Joong Hwang^{1*}

¹School of Mechanical & Automotive Engineering, Halla University

요약 사람의 생체 신호를 측정하여 로봇 제어에 이용하는 연구는 최근까지 활발히 진행되고 있다. 하지만 정확한 센서 정보를 위한 복잡한 신호 처리가 필요하고 고가의 시스템을 필요로 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 저가의 EMG 센서와 Flex 센서로부터 측정된 신호를 이용하여 사람의 손 동작을 인식한 후 해당 움직임을 원격지의 로봇 핸드로 구현하는 것을 목표로 한다. MCU(Micro Controller Unit) 와 해당 센서들을 이용하여 실험적으로 사람의 손과 팔 부근의 3개의 센서 부착 위치를 결정하고 움직임에 따른 출력 신호와 실제 동작 사이의 구분 방법을 결정한다. 동작 인식 정확도를 높이기 위해 MCU의 아날로그 기준 전압에 따른 디지털 값 변화 실험 수행 후 기준 전압을 3.3V로 선정하였다. 손 동작을 구현하기 위해 4개의 손가락과 손목부분으로 구성된 링크 구조의 로봇 핸드를 설계한 후 제작하였다. 결과적으로 간단한 센서와 저가의 MCU를 활용하여 원격지의 로봇 핸드를 제어할 수 있음을 보였다.

Abstract Many studies have examined robot control using human bio signals but complicated signal processing and expensive hardware are necessary. This study proposes a method to recognize a human's hand motion using a low-cost EMG sensor and Flex sensor. The method to classify movement of the hand and finger is determined from the change in output voltage measured through MCU. The analog reference voltage is determined to be 3.3V to increase the resolution of movement identification through experiment. The robotic hand is designed to realize the identified movement. The hand has four fingers and a wrist that are controlled using pneumatic cylinders and a DC servo motor, respectively. The results show that the proposed simple method can realize human hand motion in a remote environment using the fabricated robotic hand.

Key Words : EMG(Electromyography), Robotic hand

1. 서론

최근 사람의 몸에서 발생하는 생체 신호를 로봇 제어에 활용하는 연구가 활발히 진행 중이다[1-4]. 생체 신호에는 심장의 전기적 활동인 심전도(ECG : Electro Cardio Gram), 눈의 전기적 활동인 안전도(EOG : Electro Oculo Gram), 두뇌의 전기적 활동인 뇌전도(EEG : Electro Encephalo Gram), 근육의 전기적 활동인 근전도(EMG :

Electro Myo Gram) 등이 대표적이다. 이 중에서 근전도는 움직임에 따라 근육 표면으로부터 측정되는 전기적인 신호를 의미하며 이 신호를 활용하면 사람의 동작 의도를 파악할 수 있다. 하지만, EMG 신호를 이용한 로봇 제어의 기존 대부분의 연구는 복잡한 형태의 신호 처리를 필요로 하고 정확한 예측을 위해 고가의 시스템을 사용하는 단점이 있다.

본 논문에서는 근전도를 측정할 수 있는 저가의

본 연구 실험 진행에는 학부생 김용재, 장영훈, 장혜준, 신현식, 최미선 학생이 도움을 주었습니다.

*Corresponding Author : Myun Joong Hwang(Halla Univ.)

Tel: +82-33-760-1225 email: mjhwang@halla.ac.kr

Received June 9, 2014

Revised July 18, 2014

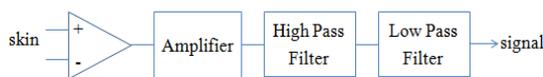
Accepted September 11, 2014

EMG 센서와 Flex 센서를 이용한 사람의 손 동작 인식 방법을 제안하고 이를 활용하여 간단하게 로봇 핸드를 제어할 수 있음을 보이고자 한다. 실험에 사용한 로봇 핸드는 사람의 손가락 동작과 유사한 개념으로 설계되었으며 DC servo motor 와 공압실린더에 의해 제어할 수 있도록 제작되었다.

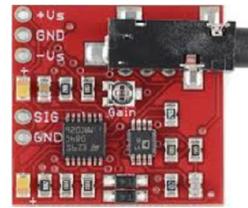
본 논문의 내용은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 근전도 센서의 원리에 대해서 설명한다. 3장에서는 각 센서의 부착 위치를 결정하기 위한 실험과 전체 제어 구조도에 대해서 언급한다. 4장에서는 로봇 핸드의 설계와 제작 방법 등에 대해 언급한 후 5장에서 본 논문의 결론과 추후 필요한 연구에 대해 기술한다.

2. 근전도 센서

근전도 검사(EMG)란 전기(Electro)와 근운동기록법(Myography)의 합성어로 근육의 수축에 수반하는 활동 전위를 도출, 증폭해서 기록한 것을 뜻한다. 근전도 센서는 증폭기, High Pass Filter(HPF), Low Pass Filter(LPF)로 구성 되어있다. 근육의 수축에 의한 전위가 미세하기 때문에 신호를 증폭시킨다. 근육에서 나오는 신호의 범위는 10~2,000Hz 이며 일반적인 신호의 주파수 범위는 20~450Hz 이므로 나머지 주파수는 잡음(noise)이다. 그림 1과 같이 신호 증폭 후에 HPF와 LPF를 이용하여 잡음을 제거하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 Advancer Technologies 사의 EMG 센서를 사용한다 [5]. 이 센서의 특징은 자체 증폭 회로와 Smoothing filter 를 내장하고 있어 정제된 신호를 얻을 수 있다는 것이다. 따라서 센서의 출력 신호를 바로 MCU(Micro Controller Unit) 의 ADC (Analog to Digital Converter)를 이용하여 제어에 활용할 수 있다. 본 연구에서는 그림 3과 같은 아두이노 우노(R3) 마이크로프로세서를 이용한다. 아두이노 우노의 기본 사양은 표 1에 나타나 있다. 10bit 의 분해능(Resolution)을 가지는 아날로그 입력(Analog Input)을 포함하고 있어 센서 신호를 입력받을 수 있다[6].



[Fig. 1] Schematic diagram of EMG sensor



[Fig. 2] Circuit of EMG sensor



[Fig. 3] MCU (Arduino Uno R3)

[Table 1] Specification of MCU (Arduino Uno R3)

Contents	Specification
Size	28 * 44 mm
Architecture	10 bit Microcontroller
Operating voltage	5 V
Clock speed	16 MHz
Digital I/O pins	14
Analog Input pins	6

3. 근전도 기반 손동작 인식

사람의 손목 부위와 손가락 부위의 근육은 그림 4와 5에 나타나있는 것과 같이 크게 두 개의 근육으로 구성되어 있다. 정확한 손동작 인식을 위해서는 손목의 운동 여부와 손가락의 굽힘 여부를 인식할 수 있어야 한다. 손목 동작을 위한 근육의 활성화 여부를 측정하기 위해 노쪽 손목 굽힘근(FCR)과 자쪽 손목 펴기근(FCL)에 센서를 부착하여 측정한다[7].

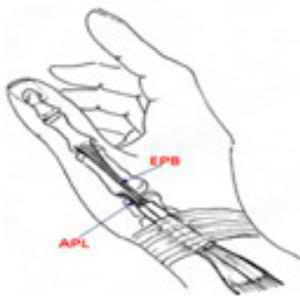
동일한 동작에 대한 각 근육의 정확한 센서 인식 가능 위치를 결정하기 위해 그림 6과 같은 세 가지 위치를 대상으로 센서들을 부착 후 손목 움직임에 따른 측정 전위값의 변화를 실험하였다. 손목 운동에 따른 근전도 변화를 측정하기 위해 그림과 같이 총 3개의 전극을 부착하였

다. 센서 출력 전압을 측정한 결과는 그림 7에 나타나 있다. 1회 왕복 운동하였을 때 그림 6의 3번과 같은 위치에서 전압 변화가 0.12V 가량 발생하는 것을 확인할 수 있고 이 전압 신호로부터 손목의 움직임 여부를 판단할 수 있다.

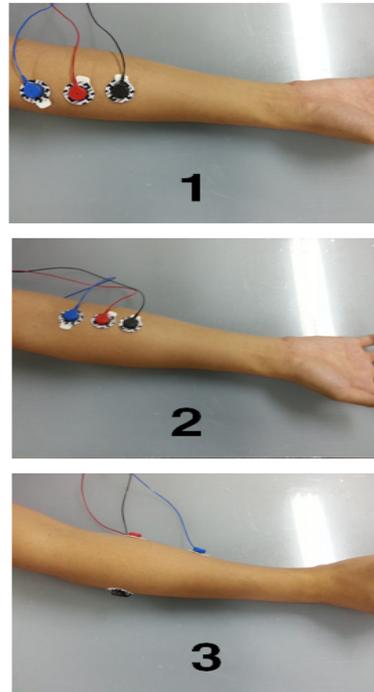
손가락의 움직임은 엄지의 경우 긴 엄지 벌림근(APL), 긴 엄지 편근(EPL) 겹치는 집게 손가락 편근(EI)의 동작에 의해 이루어진다[7]. 손가락 근육은 그 면적이 매우 좁아 전극의 부착이 용이하지 않았다. 또 실제 손가락 부근에 부착 시에도 손가락이 아닌 손목의 동작에 따라서 전압 변화가 발생하였기 때문에 정확한 손가락만의 움직임을 판별하기 불가능하였다. 손가락의 동작 여부 측정은 관절의 굽힘 측정이 가능한 그림 8과 같은 Flex 센서를 이용한다. Flex 센서는 굽힘에 따라 저항이 변화되는 원리를 이용한 것으로 일정한 전원을 가해준 후 굽힘에 따른 전압의 변화로부터 손가락의 굽힘을 판단할 수 있다. 본 연구에서는 Spectrasymbol 사의 55mm Flex 센서를 사용하였다[8]. 해당 센서는 굽힘이 발생하지 않는 상태에서는 25kΩ의 저항값을 가지고 굽힘 각도에 따라 저항값이 125kΩ까지 증가하게 된다.



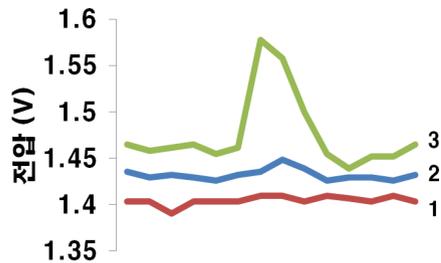
[Fig. 4] Muscles of human arm [7]



[Fig. 5] Muscles of human finger [7]



[Fig. 6] Experiment to determine position of sensors



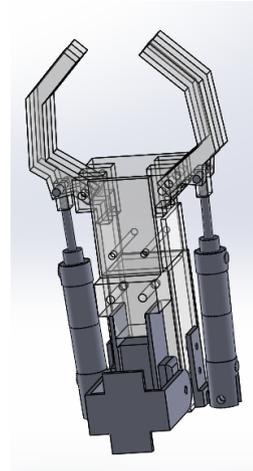
[Fig. 7] Voltage signal for each sensor position



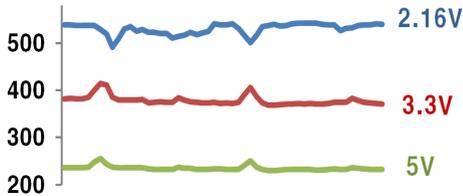
[Fig. 8] Flex sensor

본 연구에 사용한 MCU의 아날로그 입력 기준 전압은 5V이며 분해능은 10bit이다. 따라서 입력 전압을 1024개로 분해할 수 있는 성능이며 약 0.005 V의 최소 단위를 측정할 수 있다. 앞의 측정 실험에서 보면 손목 움직

임 시 약 0.12V의 전압 차이가 발생하고 A/D 변환 시 MCU 내부의 디지털 값은 약 22의 차이를 가진다. 기준 전압을 작게 하면 할수록 동일한 전압 변화에 대한 A/D 변환 후의 디지털 값의 변화는 증가하게 되어 MCU 내부에서 동작 유무의 판별이 용이해진다. 이 기준 전압을 3.3V 와 2.16V 로 바꾸어서 동일한 동작에 대해 실험을 하였다. 2회 반복 동작에 대한 결과는 그림 9와 같으며 기준 전압이 5V 일 때에 비해 3.3V 와 2.16V 로 기준 전압을 작게 하였을 경우 변화를 더 크게 인지할 수 있음을 알 수 있다. 정확한 디지털 값의 차이는 표 2에 나타나 있다. 하지만 2.16V 일 경우 3.3V 에 비해 전압 신호에 노이즈가 생기는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3.3V를 아날로그 입력 기준 전압으로 설정하였다.



[Fig. 10] 3D design of robotic hand



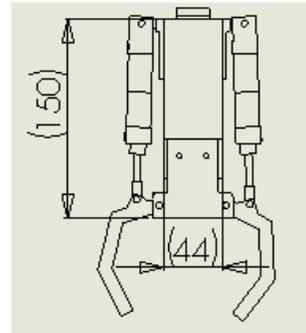
[Fig. 9] Digital value for A/D reference voltage

[Table 2] Difference of digital value according to change of A/D reference voltage

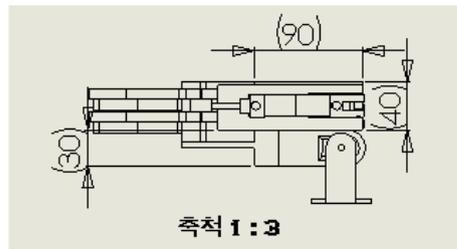
A/D Reference Voltage	Digital Value	Difference
5.0	233 - 255	22
3.3	373 - 412	39
2.16	491 - 539	48

4. 로봇 핸드 설계

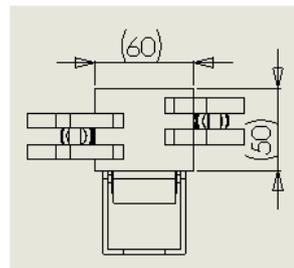
센서를 통한 손 동작 인식 후 동일한 동작을 제어하기 위해 본 연구에서는 로봇 핸드를 설계 및 제작하였다. 로봇 핸드는 크게 손목 부분과 손가락 부분으로 나누어져 있으며 3차원 설계는 그림 10 과 같다. 손가락 부분은 4 개의 손가락을 가지고 있으며 두 손가락은 엄지에 의해 나머지 두 손가락은 검지에 의해 제어가 된다. 손가락의 동작은 공압실린더 두 개를 이용하여 제어하도록 한다. 손목의 구동기는 DC servo motor로 선정하였고 브라켓을 제작하여 매니플레이이터와 같은 다른 기계시스템에 체결하여 사용할 수 있게 하였다.



(a) Top view



(b) Side view

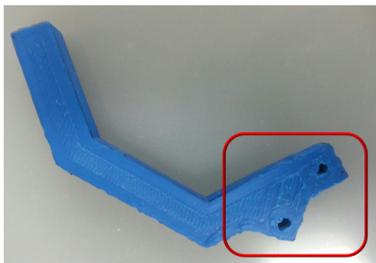


(c) Front view

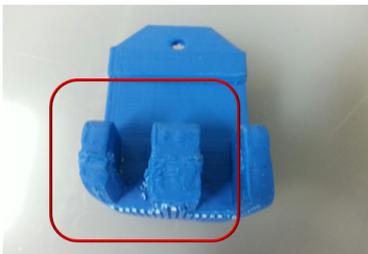
[Fig. 11] 2D design of robotic hand (in mm)

로봇 핸드는 캔 정도 크기의 물건까지 집을 수 있도록 설계되었으며 실린더 크기 등을 고려한 실제 각 부위의 사이즈는 그림 11에 나타나 있다. 각 부품은 교내에 보유 중인 3차원 프린터를 이용하여 직접 제작하였다. 손가락 부분과 손가락 회전축 고정부 부분을 제작하였는데 그 결과물의 실제 사진이 그림 12에 나타나 있다. 제작한 결과 그림 12의 왼 부분에 표시된 것과 같이 축 구멍과 같은 정밀한 부분의 구현이 매끄럽지 못함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 13과 같이 아크릴판을 사용하여 로봇 핸드를 제작하였다.

전체적인 제어 구조도는 그림 14와 같다. PWM 신호를 이용하여 servo motor를 구동하고 공압실린더는 솔레노이드밸브를 제어함으로써 전/후진 동작을 구현할 수 있다. 센서와 로봇 핸드를 포함한 전체 시스템은 그림 15와 같다. 사람의 손목 부위에는 EMG 센서 전극이 부착되고 손가락에는 Flex 센서가 부착된다. EMG 센서로부터 측정된 전압값의 변화가 발생 시 손목 움직임이 있는 것으로 판단 후 해당 방향으로 모터를 움직이고 Flex 센서로 부터의 전압 변화를 측정하여 손가락의 움직임을 인식 후 로봇 핸드 손가락이 움직여 물체를 집을 수 있게 된다.

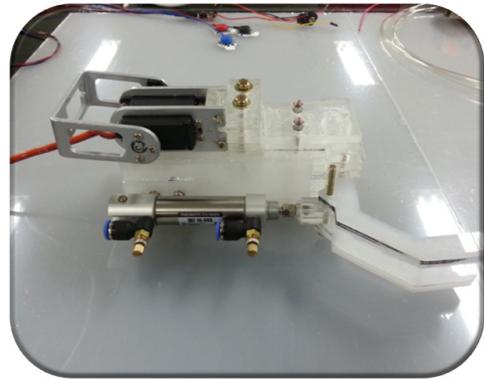


(a) Finger

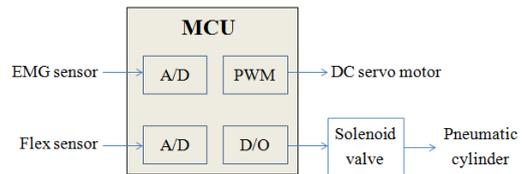


(a) Top view

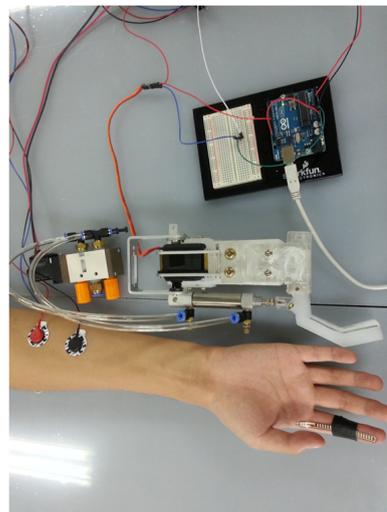
[Fig. 12] Fabricated parts using 3D printer



[Fig. 13] Fabricated robotic hand



[Fig. 14] Diagram of overall system



[Fig. 15] Overall system

5. 결론

본 논문에서는 EMG 센서와 Flex 센서를 이용하여 사람의 손동작 인식 방법에 대한 연구를 수행하였다. 실험적으로 근육의 정확한 EMG 센서 부착 위치를 선정하였고 동작 인식 정확도를 높이기 위해 MCU의 아날로그

기준 전압에 따른 디지털 값 변화를 확인 후 기준 전압을 3.3V로 선정하였다. 4개의 손가락으로 구성된 로봇 핸드 를 설계하여 3차원 프린터로 제작하였으나 정밀한 부분 에 대한 완성도가 높지 못해 아크릴판을 이용하여 자체 제작하였다. 로봇 핸드의 손가락 부분은 공압실린더, 손 목 부분은 DC servo motor를 구동기로 선정하였고 손목 과 손가락 부위에 센서를 부착한 후 사람의 손동작에 따 라 로봇 핸드가 동일한 동작을 하도록 하였다.

본 연구는 간단한 형태의 센서와 저가의 MCU를 활용 하여 원격지의 로봇 핸드를 제어할 수 있음을 보였고 이 러한 연구는 장애인 보조 로봇의 핸드 제어 또는 원격 작 업이 필요한 환경에 응용 가능하다. 특히 제작된 로봇 핸 드는 그 전체 질량이 800g 내외로 일반적인 소형 산업용 로봇의 가만하중 3kg 보다 작으므로 다양한 작업에 충분 히 적용 가능하다.

추후에는 로봇 핸드의 경량화를 위한 설계 변경과 보 다 정밀한 손가락 동작 인식을 위한 센서 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] D. C. Lee and Y. Choi, "Motion and Force Estimation System of Human Fingers," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 17, no. 10, pp. 1014 - 1020, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2011.17.10.1014>
- [2] J. Lee, J. Kim, and J. Park, "Classification of Grip Configuration Using Surface EMG," *Proc. of the 13th Int. Conf. on Control, Automation and Systems*, pp. 173-176, Oct. 2013.
- [3] P. Artemiadis, "EMG-based Robot Control Interfaces: Past, Present and Future," *Advances in Robotics & Automation*, vol. 1, issue, 2, 2012.
- [4] P. K. Artemiadis and K. J. Kyriakopoulos, "EMG-based Control of a Robot Arm Using Low-Dimensional Embeddings," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 26, no. 2, pp. 393-398, Apr. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2009.2039378>
- [5] <http://www.advancertechnologies.com>
- [6] <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [7] Y. H. Jeon, Y. S. Seo, and S. H. Park, *Human Anatomy*, pp. 96-102, Cheonggu, 2006.
- [8] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/flex22.pdf>

황 면 중(Myun Joong Hwang)

[정회원]



- 2001년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2007년 12월 : KAIST 기계기술연구소 연수연구원
- 2008년 1월 ~ 2009년 12월 : Case Western Reserve Univ. Research Associate
- 2010년 2월 ~ 2013년 2월 : 삼성전자 생산기술연구소 책임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한라대학교 기계자동차공학부 조교수

<관심분야>

로봇 제어, 양팔 로봇, 의료용 로봇, 모션 제어