
근전도기반의 무선 착용형 컴퓨터 인터페이스 개발

Development of an EMG-based Wireless and Wearable Computer Interface

한효녕, Hyonyoung Han*, 최창목, Changmok Choi*, 이연주, Yunjoo Lee*, 하성도, Sungdo Ha**,
김정, Jung Kim *

* 한국과학기술원 기계항공시스템학부, **한국과학기술연구원 지능시스템 연구본부

요약 본 논문에서는 근전도 신호 기반의 무선 착용형 컴퓨터 인터페이스를 개발하였다. 밴드 형태의 무선 착용형 단말기는 4 채널 근전도 센서와 붙어있으며, 대역통과 필터 및 차단 필터, 신호증폭기를 이용하여 구별 가능한 근전도 신호를 추출하였다. 얻어진 신호는 무선통신을 통해 컴퓨터로 전송하게 된다. 컴퓨터 인터페이스를 위해 손목 움직임을 사용하였으며, 움직임으로부터 획득된 신호를 다층 인식 신경망을 사용하여 손목 움직임을 인식하게 하였다. 이를 통하여 마우스 커서의 움직임을 제어하고, 마우스 버튼을 클릭하는 동작을 할 수 있으며, 시각 디스플레이 장치에 표시된 핸드폰 자판과 같은 유저 인터페이스를 통해 컴퓨터에 글자를 입력할 수 있게 하였다.

Abstract This paper presents an EMG-based wireless and wearable computer interface. The wearable device contains 4 channel EMG sensors and is able to acquire EMG signals using signal processing. Obtained signals are transmitted to a host computer through wireless communication. EMG signals induced by the volitional movements are acquired from four sites in the lower limb to extract a user's intention and six classes of wrist movements are discriminated by employing an artificial neural network (ANN). This interface could provide an aid to the limb disabled to directly access to computers and network environments without conventional computer interface such as a keyboard and a mouse.

핵심어: *Wireless, Wearable, Electromyogram(EMG), Human-computer interface,*

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였습니다. [2005-S-096-02, 신체 장애인을 위한 착용형 단말 인터페이스 기술]

* 한효녕 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: hhn98@kaist.ac.kr

* 최창목 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: axlquitar@kaist.ac.kr

* 이연주 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: rosela@kaist.ac.kr

** 하성도 : 한국과학기술연구원 지능시스템연구본부 e-mail: sungdo@kist.re.kr

* 김정 : 한국과학기술원 기계공학과 교수 e-mail: jungkim@kaist.ac.kr

1. 서론

본 연구는 지난 2007 년 HCI 학회 논문 [1] 의 연장선으로 지난 연구에서 발견되었던 문제점 및 불편사항 등을 개선하는 연구이다. 지난 연구는 지체장애인을 위한 컴퓨터 인터페이스로 상용 유선 근전도 장비를 이용하여 4 개의 근육 움직임을 추출하였고, 6 가지 동작의 패턴을 분류 및 평가 하였다. 하지만 근전도 신호를 이용하여 컴퓨터 인터페이스를 하는데 있어서, 다음과 같은 개선 사항이 필요하였다. 먼저 단말기와 컴퓨터가 유선으로 연결되어, 사용 컴퓨터 주변에서만 센서 사용이 가능하여 센서 착용 후 활동의 제약이 있었고, 단말기와 근전도 센서의 연결선의 움직임 등으로 불편함을 느낄 수 있었으며, 또한 업체 전용의 보드 및 프로그램이 필요하여, 개발된 인터페이스의 다른 컴퓨터에서의 범용적인 사용이 불가능 하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 무선 착용형 단말기를 개발하였다. 먼저 무선화 함으로써 컴퓨터 본체 및 장치와의 거리 제한을 극복할 수 있으며, 단말기 사용 중에도 자리 이동이 자유로워, 센서 탈부착 등의 문제가 발생하지 않게 하였다. 그리고 무선 단말기를 근전도 센서 근처 윗팔에 장착하고 연결선 길이를 조절함으로써 센서 연결선의 움직임 문제를 제거하였다.

무선 착용형 생체신호 측정 장치는 맥박 및 심전도 장치에서도 활발히 연구되고 있으며, 근전도 장치에서도 연구 되어왔다. KAIST [2] 에서는 무선 장치를 이용하여 보행시 다리의 움직임을 패턴 분류하였으며, Johns Hopkins [3]에서는 손에 전해지는 힘을 측정하였다. 이러한 착용형 단말기를 개발함에 있어서 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다. 먼저 지체장애인들을 대상으로 개발함에 따라 작동 및 탈부착이 간단하여야 하며, 착용감이 중요하며, 이를 위해 장치의 소형화 및 경량화가 중요하다. 위에서 제시된 고려사항들을 바탕으로 4 채널 착용형 근전도 센서 단말기를 개발하였으며, 개발된 장치를 통하여 얻은 4 개의 근전도 신호를 이용하여 손목의 움직임을 구별하였고, 이를 이용한 컴퓨터 인터페이스를 개발하였다.

2. 무선형 시스템

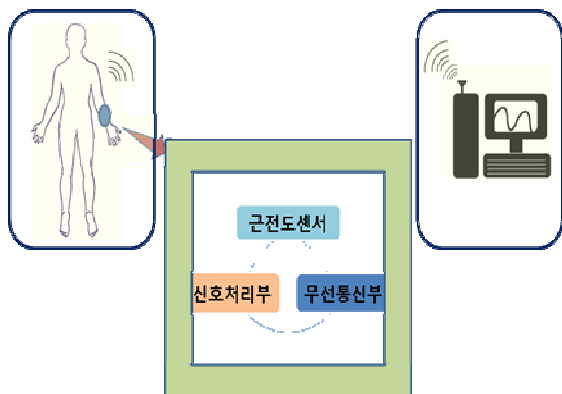


그림 1. 무선 착용형 단말기의 구성도

무선 착용형 근전도 단말기에서의 신호 흐름은 그림 1 과 같이 근전도 센서, 신호처리부 및 무선통신부 3 방향으로 흐른다. 2 장에서는 아날로그 신호처리부, 디지털신호처리 및 무선 통신부, 시스템 구성에 대해서 설명될 것이다.

2.1 근전도 신호처리

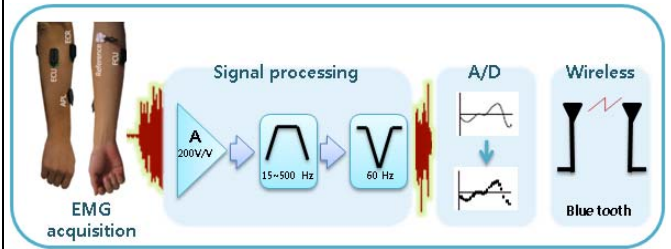


그림 2. 근전도 신호의 신호처리과정

근전도 신호는 수 mV, 0 - 500 Hz 의 주파수 특성을 가지는 신호로써, 본 연구에서 사용한 비침습형 sEMG 의 경우, 주변 잡음 영향이 커서, 올바른 근전도 신호를 얻기 위해서는 신호처리가 필수적이다. 따라서 잡음을 줄이고 근전도 신호만을 증폭시키는 필터 및 증폭기의 설계가 중요하다. 특히 의료기기 등에서 주된 문제점으로 제기되는 60 Hz 전원 잡음의 제거가 중요하며, 제거시 대역폭 설정을 알맞게 맞추어, 근전도 신호의 정보까지 유실하는 문제를 최소화 하여야 한다. 본 연구에서 사용된 아날로그 신호처리기는 그림 2 와 같은 순서로 다단의 신호 증폭 및 필터링 과정을 통하여 근전도 신호를 추출하였다.

신호처리의 처음 과정은 인체 외부에서 측정시 발생하는 노이즈를 제거하기 위하여 차등 증폭기를 이용하여, 근전도 센서와 레퍼런스 신호의 차이를 제거한 후, 4 배 증폭하였다. 증폭된 신호는 기존에 존재하고 있는 DC 성분의 영향으로 증폭률이 제한되어 있으며, 보다 큰 증폭률을 획득하기 위하여 필터링 이후에도 단계적으로 증폭 시켜 주었다. DC 성분제거 및 고주파 잡음을 제거를 위하여 15 - 500 Hz 1 차 능동 대역통과 필터를 사용하였고, 10 배 증폭하였다. 그 후 60 Hz 전원 잡음을 제거하기 위하여 2 차 능동 notch 필터를 사용하여, 전원 잡음의 영향을 효과적으로 줄인 후 5 배 증폭하였다.

위와 같은 신호처리 결과 0 - 3 V 의 크기를 가지는 근전도 신호를 얻을 수 있었으며, 신호처리된 신호는 analog to digital converter 를 이용하여 디지털 값으로 변환 되었다.

2.2 디지털 신호 처리 및 무선 통신부

아날로그 회로상에서 신호처리된 근전도 신호는 A/D 컨버터를 이용하여 디지털 값으로 변환되며, 디지털 신호처리 후에 무선통신 모듈을 통하여 컴퓨터로 전송된다.

디지털 회로 부에서 사용된 장치는 microchips 사의 PIC16F876A 마이컴이 사용되었으며, 10 bit A/D 해상도를

가지며 5 V 동작 전압에서 5 mV 의 해상도를 가지게 된다. A/D 변환은 정보를 최대한 얻기 위하여 2 kHz 의 속도로 4 채널이 변환하게 된다. 변환된 근전도 신호는 non-overlapping moving average 필터를 적용하여, 20 ms 구간의 평균 값을 무선 통신을 통하여 전송하게 된다. 전송된 신호는 컴퓨터에서 N=4 의 window 를 사용하여 overlapping moving average 필터를 적용하게 되고, 이는 신호의 특징점으로 사용되었다.

$$M.A. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

무선통신 모듈로는 블루투스 모듈 (Firmtech, Co.) 을 이용하여 전송하였다. 선처리된 디지털 신호 처리 값은 매 40ms 마다 컴퓨터로 전송되었으며, 115,200 bps 속도로 컴퓨터로 전송되었다.

2.3 단말기 하드웨어 구성

무선 착용형 단말기는 윗팔에 포켓밴드 형태로 장착되며, 단말기에서는 4 개의 근전도 센서 및 레퍼런스 센서 (DELSYS, Co.) 와 연결되어 근전도 신호를 측정하게 된다. 개발된 무선 단말기는 90 x 110 x 45 mm³ 의 크기를 가지며 배터리를 포함한 무게는 340 g 이다. 단말기 내부 회로는 크게 전원관리부, 근전도 센서 및 신호처리부, 디지털 신호처리부 및 무선 통신부 3 파트로 구성되어 있다.

전원관리 부에서는 각 부분의 필요 전원 변환 (± 12V, 5V, 3.3V, GND) 의 및 동작을 관리한다. 특히 디지털 및 아날로그 회로의 전원을 분리하여 인가하였으며, 동작스위치도 따로 만들어 관리하였다. 근전도 센서 및 신호처리부에서는 센서를 통하여 얻은 신호를 opamp 를 이용하여 증폭 및 필터링하였으며, 가변 저항을 통하여, 펄스가 주파수 및, 증폭률을 변화 시킬 수 있도록 제작 되었다. 디지털 신호처리 및 무선통신부에서는 신호처리된 근전도 신호를 마이컴을 이용하여 디지털 변환 및 디지털 신호처리, 그리고 통신 언어로 변환 시켜 주는 역할을 하였다. 무선 통신은 단말기에 부착된 모듈과 usb 타입의 블루투스 모듈을 이용하여 전송하였으며, 무선 동작 범위는 30 m 로 웬만한 방안에서 신호 손실 없이 동작이 가능하였다. 그림 3.은 개발된 장치의 외형 및 내부 회로를 보여주고 있다.



그림 3. (a) 무선 착용형 근전도 단말기외형 (b) 무선 단말기의 내부 및 무선통신 모듈

3. 컴퓨터 인터페이스 알고리즘

컴퓨터를 원활하게 사용하기 위해서는 시각 디스플레이 장치에 재생되는 마우스 커서의 움직임을 자유롭게 조정할 수 있어야 하며, 원하는 위치에서 마우스 버튼을 클릭할 수 있어야 하고, 이를 위해서는 마우스 커서를 상/하/좌/우 4 방향으로 제어하는 방법과 마우스 왼쪽버튼을 클릭하는 방법이 필요하다. 컴퓨터 사용을 원활히 하기 위해서는 마우스 커서의 움직임을 제어하는 것뿐만 아니라 글자를 입력할 수 있는 인터페이스가 필요하며, 이를 위해 유저 인터페이스를 만들어 정상인이 핸드폰 자판을 이용하여 글자를 입력하듯 손목의 움직임으로 마우스 커서를 움직이고, 인터페이스 자판을 클릭함으로써 글자를 입력할 수 있도록 하였다.

3.1 근육선정

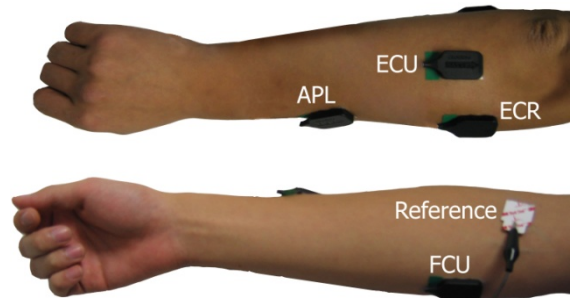


그림 4. 근전도 신호를 획득하기 위한 표면전극 부착

컴퓨터를 원활하게 사용하기 위해서는 시각 디스플레이 장치에 재생되는 마우스 커서의 움직임을 자유롭게 조정할 수 있어야 하며, 원하는 위치에서 마우스 버튼을 클릭할 수 있어야 한다. 이를 위해 사용자 손목의 상/하/좌/우 4 방향의 움직임과 손가락을 펴는 움직임, 5 움직임(radial deviation, ulnar deviation, wrist extension, wrist flexion, finger extension)을 채택하였다. 이 방법은 손목의 움직임이 가리키는 방향과 마우스가 움직이는 방향이 정확히 일치하기 때문에 사용자가 마우스 커서의 위치제어를 직관적으로 할 수 있다는 장점이 있다. 이 움직임을 관장하는 근육들은 약 19 개 정도로 복잡한 상호관계에 의해 수축/이완 작용을 하지만 이 근육들 중에서 관찰하고자 하는 5 가지 움직임을 가장 주도적으로 관장하는 4 개의 근육을 축진을 통해 다음과 같이 선정하였다: flexor carpi ulnaris(FCU), extensor carpi radialis(ECR), extensor carpi ulnaris(ECU), abductor pollicis longus(APL).

3.2 패턴인식

사용자가 근전도를 이용하여 컴퓨터를 이용하기 위해서는 사용자의 의도를 마우스 커서의 움직임과 일치시켜야만 한다. 이를 위해 다층 인식 신경망을 사용하였으며, 훈련을 위한 학습방법은 backpropagation learning algorithm 을 사용하였다. 신경회로망 구조 및 학습 알고리즘에 관한 변수는 표 1 과 같다. 입력 노드는 EMG 전극의 개수와 동일한 4 개이며, 출력 노드는 구분하고자 하는 움직임 6 개와 동일하다. Hidden layer 의 개수는 1 개를 사용하였으며, hidden node 의 개수는 4 개를 사용하였는데, 이는 사용할 수 있는 hidden node 개수 최소개인 1 개부터 시작하여 점차 개수를 늘려가면서 패턴인식이 만족스럽게 잘 수행되는 최소의 hidden node 개수를 시행착오를 거쳐 선정하였다. 표 2 는 신경망 회로 이용을 위한 target vector 이며 6 개의 각 패턴에 대하여 단 한 개의 말단뉴런만 활성화하도록 설계하였다. 추가적으로 신경망 회로의 말단뉴런에 maximum selector 를 설계하여 가장 크게 활성화되어 있는 뉴런을 찾도록 하였으며, 가장 활성화되어 있는 뉴런과 사용자의 의도와 일치시킴으로써 사용자의 의도를 인식할 수 있도록 하였다

표 1. Backpropagation learning algorithm 적용을 위한 변수

Parameter	Number/Value
Input nodes	4
Output nodes	6
Hidden nodes at the hidden layer	5
Learning rate	1.2
Momentum	0.8
Tolerance	0.0005
MAX_iteration	300

표 2. 신경망 회로 이용을 위한 target vector

Mouse movement	Desired network's response					
Stop	1	0	0	0	0	0
Left movement	0	1	0	0	0	0
Right movement	0	0	1	0	0	0
Up movement	0	0	0	1	0	0
Down movement	0	0	0	0	1	0
Click	0	0	0	0	0	1

3.3 글자 입력 인터페이스

추가적으로 근전도 신호를 이용하여 컴퓨터상에 글자를 입력할 수 있는 글자입력 인터페이스를 개발하였다. 이 인터페이스는 삼성전자 휴대폰의 '천지인' 을 모방한 사용자 인터페이스이며 각 버튼들을 마우스 제어를 통하여 클릭함으로써 정상인이 핸드폰 자판을 이용하여 글자를 입력하는 것과 동일한 효과를 가지도록 하였다.

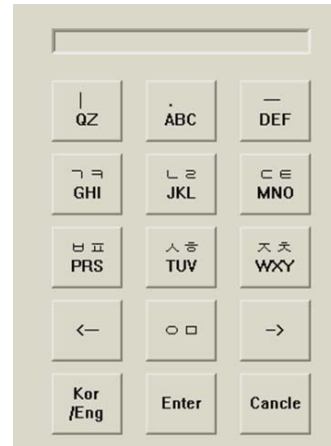


그림 5. 글자입력을 위한 사용자 인터페이스

4. 결과

사용자 의도에 따른 손목의 움직임으로부터 발생하는 근전도 신호를 미리 선정한 근육 FCU, ECR, ECU, APL 에서 각각 추출하였으며, 이의 각 근육의 시간에 따른 활성도는 그림 6 과 같다.

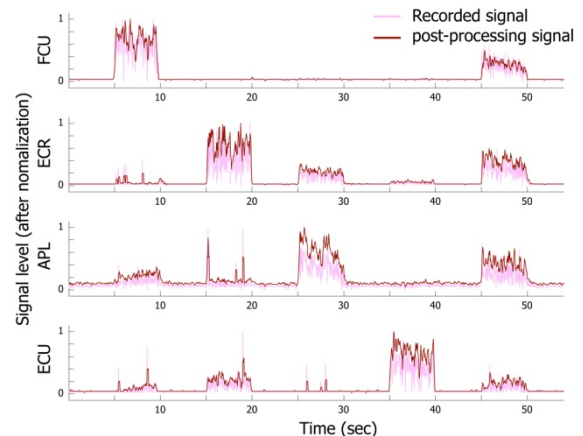
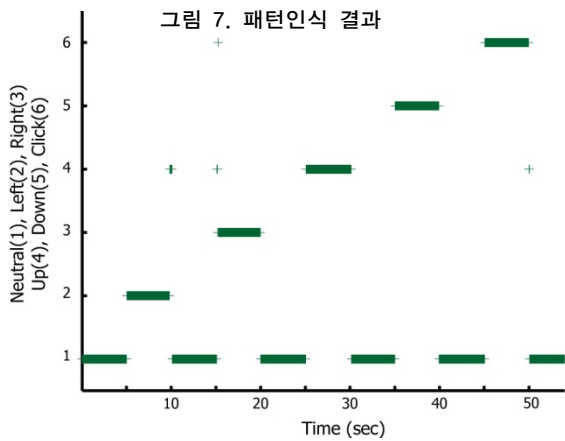


그림 6. 손목의 움직임에 따른 근전도 신호 획득

분홍색 신호는 무선통신을 통해 컴퓨터로 전송된 신호이며, 빨강색 신호는 전송된 신호에 window 를 적용한 신호다.

그림 7 는 그림 6 의 결과에서 얻어진 신호를 토대로 신경회로망을 거쳐 가장 활성화된 뉴런을 찾아 사용자의 의도를 적절히 인식하고 있음을 보여주는 그래프이다. 여기서 사용자의 6 가지 의도를 각각 0~5 의 숫자로 분류하여 나타내었으며, 빨간색 실선은 사용자의 의도이며, 초록색 십자가 표시는 신경망 회로를 통하여 분류된 패턴인식 결과이다. 표 3 은 25 세의 피시험자를 대상으로 패턴인식 결과를 실험해 본 결과이며, 총 5 번의 실험을 하여 그림 4 에서 분류된 패턴이 얼마나 사용자의 의도대로



적절히 분류되었는지 성공률을 조사하였다. 본 논문에서 제안한 근전도 기반의 컴퓨터 인터페이스 방법은 6 가지 패턴을 97%이상의 높은 성공률로 인식함을 확인 할 수 있다.

표 3. 패턴인식 성공률

Pattern	Classification success rate (%)	Standard deviation
Stop	99.48	0.004
Left movement	98.27	0.022
Right movement	98.25	0.013
Up movement	96.77	0.053
Down movement	100.00	0.000
Click	97.65	0.012

5. 결론

본 논문에서는 근전도 신호 획득에 필요한 장치를 무선 착용형 단말기로 개발하여 그 효용성을 검증하였다. 장치를

소형화 하여 인체에 착용함으로써 움직임의 제약으로부터 자유로워 질 수 있고, 무선화 함으로써 정확한 신호 획득이 가능하다. 본 연구에서 개발된 단말기는 상, 하지에 착용이 가능하고, 마우스 커서의 움직임 제어 및 마우스 버튼을 클릭하는 동작 등이 가능하다. 이러한 착용형 단말기는 지체장애인을 위한 입력장치로 인간-기계 상호작용의 다양한 응용에도 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 최창목, 한효녕, 하성도, 김정, 지체장애인을 위한 근전도기반의 컴퓨터 인터페이스 개발, 한국 HCI학회, pp. 222-227, 2007.
- [2] Sang Wan Lee, Taeyoub Yi, Jeong-Su Han, Hyoyoung Jang, Heon-Hui Kim, Jin-Woo Jung, Zeungnam Bien, Walking Phase Recognition for People with Lower Limb Disability, 10th International Conference on Rehabilitation Robotics. pp.67, 2007
- [3] William Tam, Robert H.Allen, Yen Shi Gillian Hoe, Stanley Huang, I=Jean Khoo, Katherine E. Outland and Edith D. Gurewitsch, A Wireless Device for Measureng Hand-Applied Forces, 26th IEE EMBS, pp.2121, 2004

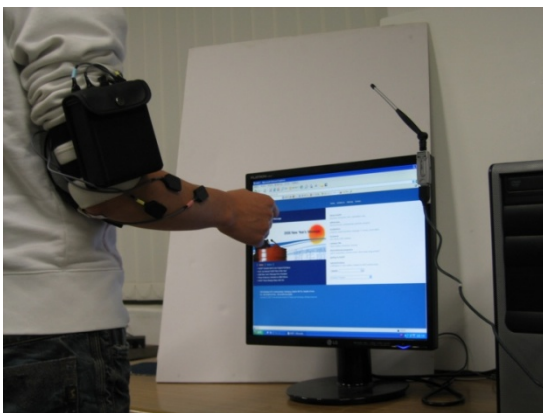


그림 8. 무선 근전도 단말기를 이용한 컴퓨터 인터페이스