

2자유도 전동외수의 제어알고리즘 설계

최기원*, 최규하**, 김홍성**, 신우석***
*재활공학연구소, **건국대학교, ***두원공과대학

Design of control algorithm for 2 DOF myoelectric hand prosthesis

Gi Won Choi, Gyu Ha Choe, Hong Sung Kim, Woo Seok Shin
Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center
Konkuk University, Doowon Technical College

ABSTRACT

In this paper presents a control algorithm for myoelectric hand prosthesis(MHP) with 2 degree of freedom(DOF), which consists of a mechanical hand, a surface myoelectric sensor(SMES) for measuring myoelectric signal, a control system and a charging battery. The actuation for the 2-DOF hand functions such as grasping and wrist rotation was performed by two DC-motors, and controlled by myoelectric signal measured from the residual forearm muscle. The two controllers were made of a RISC-type microprocessor, and its software was executed on a real-time kernel. The experimental results were showed that the proposed a control algorithm is feasible for the MHP.

1. 서 론

우리나라는 약 86만 명으로 추정되는 절단 장애인들이 있으며, 이 중에서 선천성 장애인이 약 5%이고, 나머지 95%는 교통사고 및 산업재해에 의한 후천적 장애인으로 알려져 있다^[1]. 이러한 지체 장애인들의 정상적 사회복귀는 우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 큰 사회적인 문제로 대두되어 지원기기(assistive device)에 관한 많은 연구가 진행되었다. 특히 의족이나 의수(prosthetic hand)는 절단 장애인을 위한 대표적인 지원기기로써 오랫동안 연구가 되어 왔다.

의수의 경우, 손의 동작 기능 보다는 미용적인 기능만을 가지는 미관용 의수(cosmetic hand)로부터 시작하여, 신체의 어깨 움직임을 사용하여 파지(grasping) 동작을 수행 할 수 있는 신체 구동형 의수(body-powered hand)가 개발되었다. 그러나 이러한 신체 구동형 의수는 의수 동작을 위해 손의 파지동작 수행과 관계없는 어깨 혹은 상체 부위의 움직임이 필요하고, 다른 신체의 움직임을 이용하므로 피로와 함께 장시간 사용하기에 불편하다는 문제점이 있었다. 따라서 이러한 의수들의 문제점을 해결하기 위하여 손과 같은 형상을 가지면서 배터리를 동력원으로 사용하여 전동기를 구동시키는 전동형 의수(electric-powered prosthetic hand)가 제안되었다. 특히 파지나 손목 회전(wrist rotation)과 같은 손 동작의 제어신호가 절단된 부위의 잔존근육(residual muscle)에서 검출한 근전위 신호

(myoelectric signal)에 의해 이루어지는 전동외수(myoelectric hand prosthesis)가 제안되었다^[2-4]. 이러한 전동외수의 제어기는 잔존근육의 수의 수축(voluntary contraction)에 의해 발생하는 근전위 신호와 미리 설정한 문턱치(threshold value)를 비교하여 사용자의 의도(intention)를 인식한다.

본 논문에서는 무관절 형태의 삼지를 가진 2자유도(degree of freedom, DOF) 전동외수를 제안하고 의수의 안정적인 동작 수행을 위한 제어알고리즘을 제안한다. 제안된 전동외수는 손 기능을 수행하는 기계식 의수와 근전위 신호를 검출하는 근전위 센서^[5], 의수의 동작과 파지력을 제어하는 제어시스템 그리고 의수의 동력원인 충전용 배터리로 구성되어 있다. 일반적으로 근전위 센서의 출력 레벨 신호를 근신호(myo-signal, MS)라 한다

본 연구에서 제안된 제어시스템은 두개의 제어기와 안정적인 파지동작을 수행하기 위한 파지력 센서, 미끌림 센서로 구성되어 있다. 각 제어기는 고속 CPU를 채용하고, 실시간 커널을 이용하여 구현되었다. 본 논문에서 제안하는 전동외수의 제어시스템은 장애인에 대한 실험을 통하여 신뢰성을 검증하였다.

2. 2자유도 전동외수

2.1 의수

손에 해당하는 기계식 의수는 손과 손목 모듈로 구성되어 있으며, 두 개의 소형 직류전동기로 각각 독립적으로 구동되는 2자유도(two degree of freedom) 의수이다.

손의 외형은 엄지 및 검지와 중지의 삼지를 가지고 있으며, 각 손가락은 무관절 형태이다. 검지와 중지는 서로 커넥팅 로드(connecting rod)로 결합되어 있으며 이 두 손가락과 엄지 사이는 링크 구조로 이루어져 파지 및 손의 폼 동작이 엄지와 검지가 항상 동시에 작동되는 인체의 손동작을 모방하여 설계되었다. 특히 파지동작을 수행할 때는 엄지와 검지의 끝이 서로 맞닿게 되어 작은 물체를 잡을 수 있는 집기(pinch) 동작이 가능하도록 설계되었다.

손 모듈 구동에 사용된 직류전동기는 4.5[W], 8000[rpm]의 출력을 가지고 있다. 전동기의 출력은 마찰 유성감속기(friction planetary gear)에 의해 1/14로 1차 감속되고, 부하로부터 전달되는 역토크를 방지하기 위한 잠금장치가 마찰 유성감속기와 연결되어 있다. 그리고 파지부하에 따라 자동으로 파지력(grip force)을 증가시키기 위하여 유성기어와 조합된 2단 기계식 자

동변속기(automatic transmission)를 설계하였다. 파지 부하가 작을 때는 유성기어의 특성을 이용하여 1단으로 전동기 동력을 전달한다. 이때의 파지력은 약 20~40[N] 정도로 낮지만 최종 파지 속도는 비교적 빠르다. 그러나 손의 파지동작 수행 중에 파지 부하가 증가하면, 자동변속기의 원형 스프링이 파지부하의 변화를 감지하고 유성기어의 캐리어(carrier) 축으로 전동기 동력이 전달되어 2단으로 동력이 전달된다. 이때 자동변속기의 출력 회전 속도는 8:1로 감속되고, 최종 파지력은 최대 140[N]까지 증가된다. 자동변속기의 동력 전달축을 90° 변환하기 위하여 기어비 1:1의 베벨기어(bevel gear)를 사용하였고, 마지막으로 안전장치인 미끌림 클러치(slip clutch)가 내장된 평기어(spur gear)를 연결하여 손가락과 연결하였다.

손목 모듈 구동에 사용된 직류전동기의 출력은 2.9[W]이며 회전수는 8000[rpm]이다. 전동기 출력부와 직결되어 있는 유성감속기에 의해 1/19로 1차 감속된다. 그리고 기어비 30:1의 하모닉(harmonic) 기어를 사용하여 동력 전달축의 변화 없이 2차로 감속하여 동력을 전달한다. 손목 모듈의 최종 회전 속도는 14[rpm]으로 정역 회전이 가능하도록 설계하였다.

2.2 제어시스템

일반적으로 전동의수는 사용자의 잔존부위에서 서로 독립적으로 수의 수축이 가능한 다른 두 근육에서 검출한 근전위 신호로부터 사용자의 의도를 인식하게 되지만, 장애자의 절단 부위에 따라서는 근전위 신호를 취득할 수 있는 근육 부위가 적을 수도 있다. 전동의수에서 많이 사용하는 근육 부위로서는 상대적으로 근육이 많이 분포하고 있는 전완 부위의 손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris)과 손목 펴기근(extensor carpi ulnaris)이 많이 사용된다. 근육의 수축 정도를 인식하는 대표적인 방법으로는 출력되는 근전위 신호의 크기를 미리 정해진 문턱치와 비교하여 인식하는 방법이다. 본 논문에서 제안하는 전동의수용 제어시스템에서는 두 부위의 근육에서 검출한 근전위 신호를 사용하여 사용자의 의도를 인식하고 전동의수를 제어하도록 하였다.

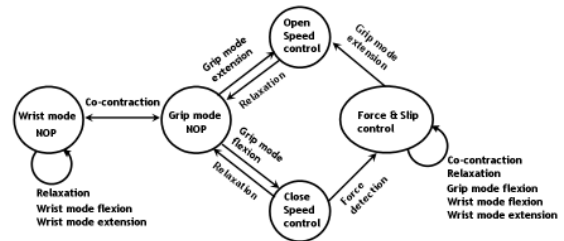
2 자유도 전동의수를 위한 제어시스템은 기계식 의수의 손과 손목 모듈을 각각 제어하는 두 개의 제어기로 구성되어 있다. 제어부는 손 제어기와 손목 제어기로 구분되며 두 제어기에서는 두 개의 근전위 센서를 이용하여 측정된 근신호로부터 사용자의 의도를 인식하여 각각 손의 파지 및 손목회전과 같은 4 가지 동작을 수행한다. 그림 1은 이러한 동작 수행을 위한 동작 모드 변환 알고리즘을 보여준다.

제안된 동작모드 알고리즘에서 두 제어기는 각각 두 근육의 동시 수의수축에 의하여 각 동작 모드의 변환이 수행된다. 즉 제어부의 전원이 투입되면 손 제어기 동작 모드만 수행이 가능하고 손목 제어기의 동작모드는 수행이 불가능하다. 그러나 두 근육의 동시 수의수축이 발생하여 두 개의 근전위 센서 출력신호가 미리 설정된 문턱치보다 크게 된 후 수의수축이 해제되어 두 센서의 신호가 문턱치보다 작아지면, 손 제어기의 동작 모드는 멈추고 손목 제어기의 동작 모드만 수행된다. 다시 두 근육의 수축이 발생하면 원래의 동작모드를 수행하도록 프로그램하였고, 이러한 동작 수행을 위해서 이중문턱치 비교법을 이용하였다^[6].

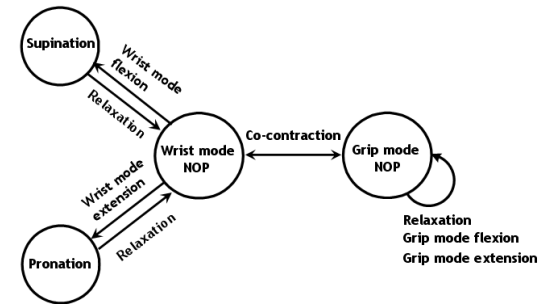
손 제어기 동작 모드 1에서는 손의 기본적인 파지와 펴 동작을 수행하며 부가적으로 파지한 물체의 미끌림을 방지하기 위한 파지력/미끌림 제어가 수행된다. 파지동작은 두 개의 근신

호 중에서 파지동작 수행을 위한 근신호의 크기가 손 제어기에서 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 근신호의 크기에 비례하여 파지속도와 기준 파지력이 증가한다. 파지동작 수행 중에 파지력이 감지되면, 파지력/미끌림 제어가 수행되어 입력된 근신호의 크기에 따라 제어기에서 계산된 기준 파지력까지 파지상태를 유지한다.

손목 제어기 동작모드에서는 손목의 내외 회전동작(supination, pronation)을 수행한다. 손목 회전은 두 개의 근전위 센서 출력신호 중에서 각 회전방향에 해당하는 근신호의 크기가 손목 제어기에서 미리 설정된 문턱치보다 높게 되면 수행되며, 근전위 센서에서 출력되는 신호의 크기에 비례하여 회전 속도는 증가한다.



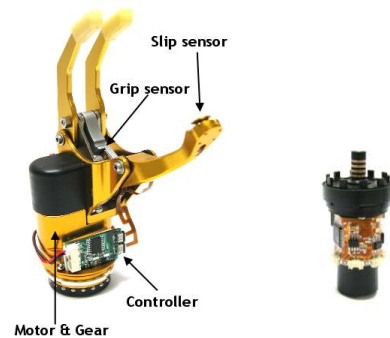
(a) Algorithm of hand controller



(b) Algorithm of wrist controller

그림 1 제안된 전동의수의 모드변환 알고리즘
Fig. 1 Algorithm of mode transfer for proposed MHP.

제작성된 손 제어기와 손목 제어기를 그림 2에서 보여주고 있다. 손 제어기는 소형 마이크로프로세서를 이용하여 21X33 mm 크기로 제작하였으며 손목 제어기는 원통형 flexible PCB로 제작되어 손목회전을 위한 전동기 케이스 표면에 부착하였다.



(a) hand controller

(b) wrist controller

그림 2 손 제어기와 손목 제어기
Fig. 2 fabricated hand and wrist controller.

3 실험 및 결과

제어기는 8bit CPU인 ATmega32(ATMEL Co.)를 채용하였고, 제어 프로그램은 실시간 커널인 uCOS-II에서 실행되도록 구현하였다. 제어기에서 사용된 직류전동기의 구동IC는 모두 H 브리지 회로(H-bridge circuit)가 내장된 μ PD16805(NEC CO.)가 사용되었다. 직류전동기의 구동IC의 제어 입력단자 4개(IN1, IN2, INC, STB) 중 두개(IN1, IN2)의 단자를 제어하여 직류전동기의 정역회전을 구현하였으며, 제어기에서 출력되는 PWM 듀티(duty)를 사용하여 전동기의 출력을 제어하였다.

그림 3은 장애인 피검자의 근신호를 이용하여 2 자유도 전동 의수 제어시스템의 제어모드 전환을 통하여 손 제어기의 모드 1과 손목 제어기의 모드 2 동작을 보여 주고 있다. 그림 3의 (a)는 피검자의 손목 굽힘근의 수축에 의해서 발생하는 근신호이고, (b)는 펌근에서 발생하는 근신호이다. 그림 3의 (c)는 손목 제어기 동작모드 2에 의한 손목 모듈에 사용된 직류전동기 2의 구동을 보여주는 전류파형이고 (d)는 손 제어기 동작모드 1에 의한 직류전동기 1의 구동 전류 파형을 보여주고 있다.

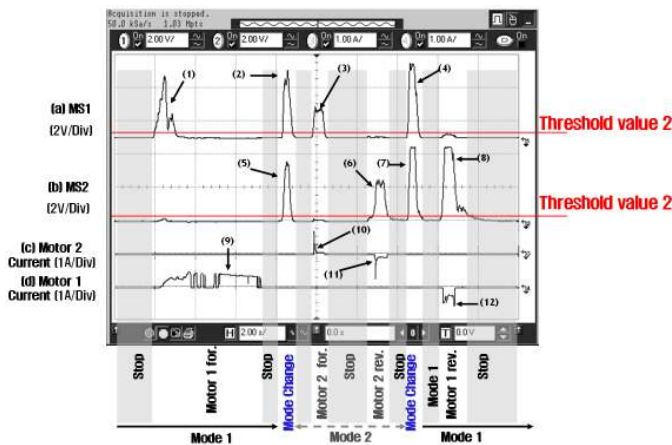


그림 3 근전위 신호에 따른 파지력 제어와 모드 전환
Fig. 3 Grip force control and mode transfer according to myo-signal of upper-limb amputee.

먼저 제어시스템에 전원이 인가되면 직류전동기 1을 제어하기 위한 손 제어기 모드 1이 수행되고 손목 제어기는 모드 2의 수행이 불가능하다. 근신호 (1)은 현재 손 제어기 모드 1의 운전 상태이므로 문턱치 2의 1[V] 보다 높고 이때 (b)의 근신호가 문턱치 1보다 낮게 출력되어 손 제어기는 직류 전동기 1을 정회전 시켜서 파지동작을 수행한다. 이때 제어기 1은 근신호 (1)에 의한 기준 파지력을 계산하고 파지력 센서의 출력이 기준 파지력에 도달하도록 직류전동기 1을 제어한다(그림 3의 (9) 참조). 근신호 (a)의 (2)와 (b)의 (5)가 동시에 문턱치 2보다 높게 된 후 일정시간 후 모두 문턱치 1보다 낮게 되어 제어모드의 전환이 이루어 졌다. 따라서 손 제어기는 모드 1의 수행이 불가능하고 손목 제어기의 모드 2는 근신호에 따른 직류 전동기의 제어가 가능하게 되었다. 따라서 근신호 (3)이 문턱치 2의 1[V] 보다 높고 (b)의 근신호가 문턱치 1보다 낮게 출력되어 손목 제어기는 직류 전동기 2를 정회전 시켜서 손목을 내회전시킨다. 근신호 (3)이 문턱치 2보다 작아질 때까지 손목은 내회전 한다(그림 3의 (10) 참조). 그리고 근신호 (6)이 문턱치 2의 1[V] 보다 높고 (a)의 근신호가 문턱치 1 보다 낮게 출력되

어 손목 제어기는 직류 전동기 2를 역회전 시켜서 손목을 외회전시킨다. 손목의 외회전은 근신호 (6)이 문턱치 1 보다 낮게 출력되면 정지한다(그림 3의 (11) 참조).

근신호 (4)와 (7)이 동시에 문턱치 2보다 높게 된 후 일정시간 후 모두 문턱치 1보다 낮게 되어 제어모드의 전환이 다시 이루어 졌다. 따라서 손 제어기의 모드 1은 입력되는 근신호에 의한 직류 전동기 1의 제어가 가능하게 되었고 손목 제어기는 입력되는 근신호에 따른 직류전동기의 제어가 불가능하게 되었다. 손 제어기는 문턱치 2 보다 높은 근신호 (8)이 입력되고 (a)의 근신호 출력이 문턱치 1보다 작은 상태이므로 직류 전동기 1을 역회전 시켜서 손 모듈의 펌동작을 수행한다(그림 3의 (12) 참조). 근신호 (8)이 문턱치 1 보다 작아지면 손 제어기는 직류전동기 1의 역회전을 정지하여 펌 동작을 멈추게 한다. 그리고 손 제어기는 입력되는 근신호의 출력이 모두 문턱치 1보다 작게 나타나므로 직류전동기 1을 정지상태로 유지한다.

피검자의 근신호에 의한 2 자유도 전동 의수의 구동에서 제어시스템의 소모전류는 평균 250[mA], 순간 최대 전류는 1000[mA] 이었고, 직류전동기 2의 구동 전류는 평균 200[mA] 미만이었다. 의수의 제어시스템에서 사용된 배터리의 용량이 1100mAh이므로 시스템에 미치는 영향이 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 2 자유도 전동 의수의 제어알고리즘을 제안하고 제작된 전동 의수의 제어시스템에 적용하였다. 상지절단 장애인의 손목 굽힘근과 손목 펌근 두 부위에 표면 근전위 센서를 부착하고 제어모드의 전환 실험을 수행함으로써 제안된 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다.

본 연구는 보건복지부 보건의료기술 진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (과제 번호 : 02-PJ3-PG6-EV03-0004)

참고 문헌

- [1] 한국보건사회연구원 2000년 전국 장애인 추정치
- [2] H. Nicolai, L. Teodorsscu, and L. C. Jain, Intelligent systems and technologies in rehabilitation engineering, CRC press, pp. 243-246, 2001.
- [3] <http://www.ottobock.com>
- [4] S. Jacobsen, D. Knutti, and R. Johnson, "Development of the Utah Artificial Arm", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-29, No. 4, pp. 249-269, 1982.
- [5] 최기원, 문인혁, 이명준, 추준욱, 성소영, 문무성, "전국의 형상과 간격을 고려한 건식형 표면 근전위 센서 개발," 제31회 대한의용생체공학회 추계학술대회, 2004. 11.
- [6] 이명준, 문인혁, 문무성, "근전도 기반 휴먼-컴퓨터 인터페이스를 위한 이중 문턱치 수법," 대한의용생체공학회 논문지, vol. 25, No. 6, pp. 471-478, 2004.