

자이로 센서와 인공신경망을 이용한 장애인용 컴퓨터 인터페이스

안용식 · 엄광문 · 김철승 · 허지운 · 나유진*

건국대학교 의과대학 의학공학부, 모빌솔루션(주)*
(2003년 5월 27일 접수, 2003년 10월 8일 채택)

Computer Interface for the Disabled Using Gyro-sensors and Artificial Neural Network

Yong-Sik An, Gwang-Moon Eom, Chul-Seung Kim, Ji-Un Heo, Eu-Jin Na*

School of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University, Mobile solutions, Inc., Korea*
(Received May 27, 2003. Accepted October 8, 2003)

요약: 본 연구에서는 교통사고나 뇌졸중 등에 의해 상지의 장애를 가지는 장애인을 대상으로 하여, 인터넷의 브라우저와 같은 소프트웨어를 사용할 수 있도록 하는 컴퓨터 인터페이스를 구현하는 것을 목적으로 한다. 이 인터페이스는 커서를 제어하기 위해 머리 움직임의 정보를 이용한다. 실제 시스템은 머리의 수평, 수직 각속도를 검출하여 컴퓨터로 전송하는 하드웨어부분과, 전송 받은 신호를 처리하여 마우스의 움직임과 클릭신호로 변환하는 소프트웨어 부분으로 구성하였다. 클릭신호는 순간적인 끄덕임으로 정의하였으며 특히, 인공신경망이 각 사용자별 클릭 패턴을 학습하여 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하도록 하였다. 구현된 시스템의 성능을 클릭의 인식률, 커서의 이동제어오차, 이동출현하는 목표박스의 단위시간당 클릭율의 세가지 항목으로 평가하였다. 또한, 일반적으로 사용되는 광마우스와 본 연구에서 개발한 자이로마우스를 각각 이 실험에 사용하여, 양자간의 차이를 비교하였다. 개발된 자이로마우스에서 클릭의 인식률은 평균 93%였고, 커서의 수평수직 이동 제어오차는 광마우스의 1.4~1.5배였다. 랜덤위치에 출현하는 50픽셀의 목표박스의 클릭률은 광마우스의 40%(30 클릭/분)의 성능을 보였으며, 시행횟수에 따라 증가하여 1회차의 35%에서 3회차에는 44%로 단조증가하는 경향을 보였다. 제안된 시스템은, 장애인에게 사회와 의사소통 할 수 있는 새로운 가능성을 제시할 것이 기대된다.

Abstract: This paper aims at developing 'gyro-mouse' which provides decent and comfortable human-computer interface that supports the usage of such software as an internet-browser in PC for the people paralyzed in upper limbs. This interface operates on information collected from head movement to get the cursor control. The interface is composed of two modules. One is hardware module in which the head horizontal and vertical angular velocities are detected and transmitted into PC. The other is a PC software that translates the received data into movement and click signals of the mouse. The ANN (artificial neural network) learns the quick nodding pattern of each user as click input so that it can provide user-friendly interface. The performance of the system was evaluated by three indices that are click recognition rate, error in cursor position control, and click rate of the moving target box. The performance result of the gyro-mouse was compared with that of the optical-mouse to assess the efficiency of the gyro-mouse. The average click recognition rate was 93%, average error in cursor position control was 1.4~5 times of optical mouse, and the click rate with 50 pixels target box was 40%(30 clicks/min) to that of optical mouse. The click rate increased monotonously with the number of trial from 35% to 44%. The suggested system is expected to provide a new possibility to communicate with the society.

Key words: Human-computer interface, Gyroscopes, Artificial neural network, Mouse, Move, Click

서론

정보화 시대의 도래로 개인생활에 있어서 컴퓨터와 인터넷의 필요성이 증대하면서 일상생활에서의 컴퓨터의 사용이 크게 늘고 있고, 인터넷의 급격한 보급으로 많은 유용한 정보를 인터넷상에서 얻을 수 있게 되었다. 또한 컴퓨터를 이용한 쇼핑, 대금결제, 은행거래 등이 가능하게 되었고, 가까운 미래에는 가

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음
(KRF-2001-003- E00148)

통신저자: 엄광문, (380-701) 충북 충주시 단월동 322
건국대학교 의과대학 의학공학부

Tel. 043)840-3764, Fax. 043)851-0620

E-mail. gmeom@kku.ac.kr

정에서의 많은 기기나 설비물의 조작도 컴퓨터를 통하여 이루어 질 것으로 예상된다. 따라서, 컴퓨터와 인터넷의 필요성은 그 어느 때 보다도 고조되고 있다. 교통사고나 뇌졸중(cerebral apoplexy) 등에 의해 사지가 마비되거나 상지의 정상적인 운동능력을 상실한 환자의 경우에도, 생활의 질(QOL: Quality of Life)을 높이기 위해 컴퓨터의 조작이 매우 요망된다. 특히 국내의 경우, 장애인의 도로보행, 건물출입 등이 제한되고 사회 참여도 어려운 상황이므로, 컴퓨터를 통한 간접경험은 더욱 그 중요성이 높다. 그러나, 장애의 정도가 심한 환자의 경우, 키보드, 마우스와 같은 일반적인 컴퓨터 인터페이스(HCI: Human-Computer interface)를 사용할 수 없으므로, 이들을 위한 새롭고 실용적인 인터페이스가 필요하다.

마비환자의 HCI에 관련된 연구는, 센서를 이용한 방법과 생체전위를 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 센서를 이용한 방법으로는 첫째, 고감도 자기(magnetic)센서를 이용한 장애자의 문자입력 시스템[2]을 들 수 있다. 이 연구에서는 자기 수신기를 머리에 장착하여 이 움직임으로 모니터에 그려진 키보드를 스캔하면서 문자를 입력하는 방식을 채택하고 있다. 이 연구에서 사용한 FASTRAK은 고감도 센서이며, 센서의 출력이 변위이므로 사용하기에 편리하지만, 상당히 고가이고, 송신기와 수신기 모두 유선이어야 하고, 휴대가 불가능해서 실용화하기는 어렵다. 또한 자기의 송신기와 수신기를 사용하고 있으므로, 현대와 같이 전자파의 외란(disturbance)이 급증하는 상황에서는 오동작의 가능성이 높아 실용적이지 못하다.

둘째로, 경사센서(tilt sensor)를 사용하여 마우스의 상하 좌우 움직임을 구현하고, 볼(ball)의 부풀림을 볼 옆에 장착한 터치 스위치로 검출하여 single click, double click, drag를 구현한 연구[3]가 있다. 이 연구에서는 두 가지 센서를 사용하므로 센서 및 신호처리부의 부피가 크고(bulky) 볼을 부풀리는 동작이 미관상 좋지 못하다는 문제가 있다.

셋째로, 자이로스코프를 이용하여 간단한 제어명령을 추출하고자 하는 시도가 있다[4]. 이 연구에서는, 자이로스코프를 머리에 장착하여 이로부터 기능적인 전기자극(FES)의 제어명령, 즉 자극의 시작과 끝 및 자극강도의 조정에 관한 명령을 추출하고 있다. 이 연구의 경우, 실용성이 높은 자이로스코프를 채택하고 있기는 하나, 단순한 몇 가지 제어명령을 전달하는 것에 그치고 있고, 명령전달의 속도가 그다지 높지 않다는 단점이 있다. 한편, 자이로스코프를 사용하여 마우스를 구현하고자 하는 연구[5,6]도 있으나, 여기서 자이로스코프로는 마우스의 상하, 좌우의 움직임만을 제어하고, click은 눈의 의도적인 깜빡임을 적외선 센서로 검출하여 시행하고 있다. 적외선 송수신기는 안구근육의 수축에 대한 피로형상 변화를 검출해야 하므로 그 부착위치에 따라 신호가 달라지는 문제점이 있고, 눈의 깜빡임 자체와 이를 검출하는 센서는 미관상의 문제를 가진다. 또한, 이 연구에서는 개발된 시스템의 정량적인 실험결과를 제시하고 있지 않다.

생체전위를 이용한 HCI로는 EEG와 EOG를 이용한 것이 있다. 우선, EEG를 측정하여 뇌로부터 직접 인간의 사고에 기

초한 제어명령 혹은 감정을 측정해 내려는 접근방식이 있으나 [4], 전극을 부착하는데 노력과 시간이 소요되고 정확도에 한계가 있으며, 본 연구에서 대상으로 하는 머리를 움직일 수 있는 환자에 있어서는 큰 이점이 없다고 볼 수 있다. 생체전위를 이용한 또 다른 접근으로서 안구전위(EOG)로부터 안구의 움직임을 검출하여 인터페이스로 이용하려는 시도를 들 수 있다 [7,8]. 즉 안구의 움직임에 수반되는 안구전도를 측정하여 안구의 움직임 및 깜빡임(blink)을 추정하고, 이로부터 인터페이스를 구현하려는 것이다. 이 연구는 탈착에 있어서의 편리성과 경제성, 미관등에 있어 뛰어나다고 볼 수 있으나, 눈이 쉽게 피로한다는 문제점이 있다.

이러한 기존연구의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 자이로스코프만을 사용하여 장애인의 머리 움직임을 검출하고, 이를 이용하여 컴퓨터의 마우스의 이동과 클릭을 제어하는 HCI를 구현하고자 한다. 마비환자에서도 비교적 손쉽게 얻을 수 있는 잔존기능중의 하나가 머리의 동작이다. 머리를 움직일 수 있는 환자에 있어서는 기존의 안구운동에 의한 인터페이스보다는 머리의 움직임을 사용하면 눈이 쉽게 피로하는 것을 막을 수 있다. 머리의 상하, 좌우동작 및 급격한 전후굴(flexion-extension) 동작인 피치(pitch) 동작을 검출하여 이로부터 마우스의 이동과 클릭에 해당하는 신호를 얻고, 이를 기초로 하여 인터넷 조작을 포함한 컴퓨터의 인터페이스를 설계하고 성능평가를 통해서 실용성을 확인하는 것이 본 연구의 목적이다. 이러한 연구의 결과는 가까운 미래에 실현될 주변환경 제어 및 원격지 제어에도 그대로 이용될 수 있다.

이 연구에서 개발될 인터페이스는 사용자가 인터페이스의 반복사용에도 쉽게 피로하지 않아야 하고, 착용 및 사용이 편리하고, 속도가 기존의 인터페이스 보다 지나치게 느려서 사용에 답답함을 주지 않아야 하고, 오입력이나 오동작이 적어야 하고, 기존의 인터페이스와 비교해서 지나치게 비싸지 않아야 하고, 거주장소럽지 않고 미관상의 이질감을 느끼지 않아야 한다

방 법

1. 마우스 인터페이스의 구현

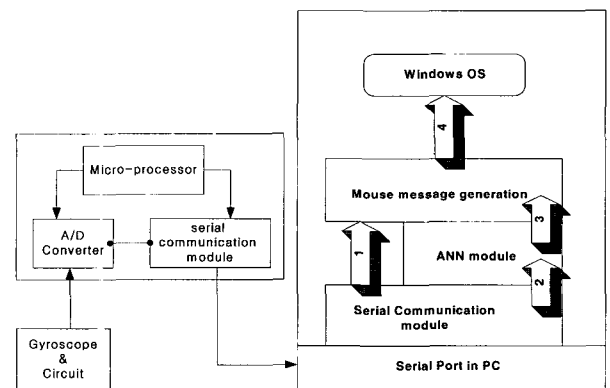


그림 1. 전체 시스템의 신호의 흐름 및 처리도
Fig. 1. Signal flow and processing of the whole system

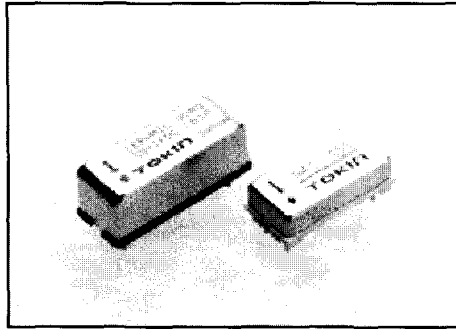


그림 2. Tokin사의 세라믹 자이로 [1]
Fig. 2. The Ceramic Gyro of Tokin corp. [1]

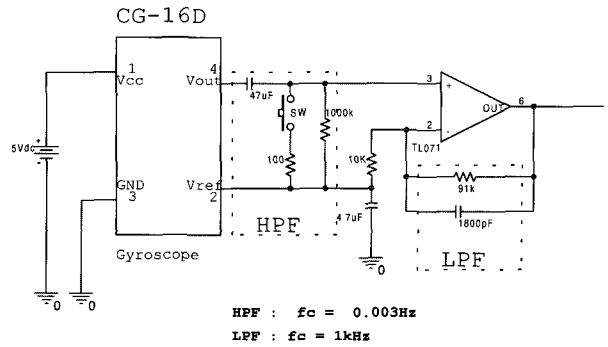


그림 3. 센서, 필터, 증폭기를 포함한 아날로그 회로
Fig. 3. Analog circuit including sensor, filter and amplifier

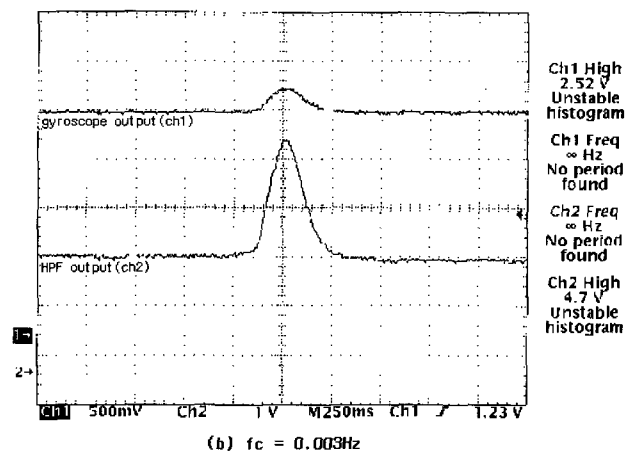
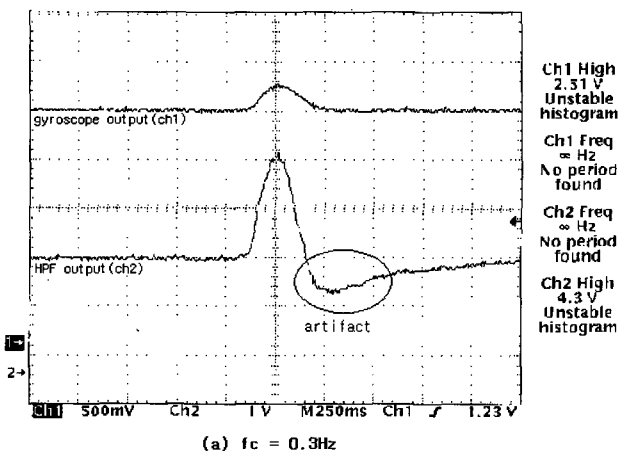


그림 4. 차단주파수에 따른 고역필터의 출력 비교
Fig. 4. Comparison of HPF outputs according to the cut-off frequency

본 연구에서의 마우스 인터페이스는 크게 하드웨어 부분과 소프트웨어로 나눌 수 있다. 개발될 시스템에서의 신호의 흐름 및 처리를 그림 1에 보인다. 마비환자의 컴퓨터 인터페이스를 머리의 움직임으로 구현하기 위해, 머리 움직임을 간편하게 측정할 수 있는 자이로스코우프를 이용하여 머리의 2자유도의 각속도를 측정하고, 측정된 각속도 신호를 마이크로 컴퓨터가 ADC 하여 컴퓨터의 시리얼 포트로 전송하면, PC상의 프로그램이 이를 마우스의 움직임과 클릭에 해당하는 신호로 변환하여 Windows에 넘겨주는 방식으로 인터페이스를 구현한다. 클릭에 해당하는 신호는 인공지능망을 이용하여 머리의 피치(pitch)동작을 검출하는 것으로 구현한다. 이런 신호를 Windows에 넘겨주면, Windows는 마치 마우스가 움직이는 것처럼 환자의 머리동작을 인식하고, 인터넷 검색기(Internet Browser)를 비롯한 컴퓨터의 모든 조작이 가능하게 된다.

(1) 하드웨어 (Hardware)

우선 마비환자의 머리의 움직임을 측정하기 위해 센서를 사용해야 하는데, 미관 및 성능을 고려하여 Ceramic Gyro(그림 2)를 선택하였다. Ceramic Gyro는 회전의 각속도를 측정하는 센서로서, 소형 사이즈(Tokin의 CG-16D 경우 크기는 8×20×

8mm)이고 고속 응답의 특성을 가진다. 검출 가능한 최대 각속도는 ±90(deg/sec), 민감도는 1.1±20%(mV/deg/sec), 주파수 응답은 100(Hz)이며, 자기장 방지기능이 있고 착용시의 부담이 적다. 또한 유사한 용도의 다른 센서에 비해서 가격이 저렴하다는 장점이 있다(1개당 5만원 상당). 센서의 부착은 작은 크기와 중량의 장점을 살려서 실제 제품 개발 시에는 안경에 부착하여 탈착(don and doff)이 용이하고, 미관상의 문제점을 최소화 할 수 있다. 센서는 수평, 수직의 2축 방향으로 장착하여 각각 머리의 상하, 좌우 움직임을 검출하도록 하였다.

그림 3과 같이 센서 신호의 증폭회로에서는, 온도변화 등에 의한 드리프트(drift)와 오프셋(offset)을 배제하기 위해 센서의 출력 신호를 고역필터(HPF)에 통과시킨 후, 다시 1KHz 이상의 고주파 신호의 제거를 수행하는 증폭도 10의 저역필터(LPF)에 통과시켰다. 고역통과필터의 설계에는 세심한 주의가 필요했다. 머리의 움직임에 의한 자이로스코우프의 신호가 주로 낮은 주파수 대역에 위치하고 있어 고역통과필터의 차단주파수를 아주 낮게 설정하지 않으면 artifact가 나타났(그림 4). 이 그림에서, 자이로스코우프의 기준 출력 전압(reference voltage output)이 2.4V 이므로 필터의 출력도 DC 2.4V 만큼

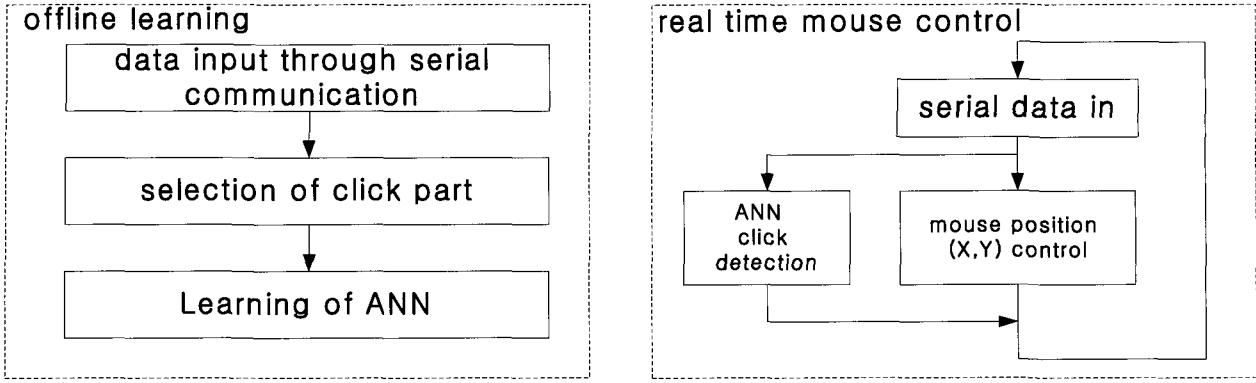


그림 5. 클릭신호의 인식과 마우스 이동 제어의 흐름도
 Fig. 5. Flowchart of clicks recognition & mouse movements

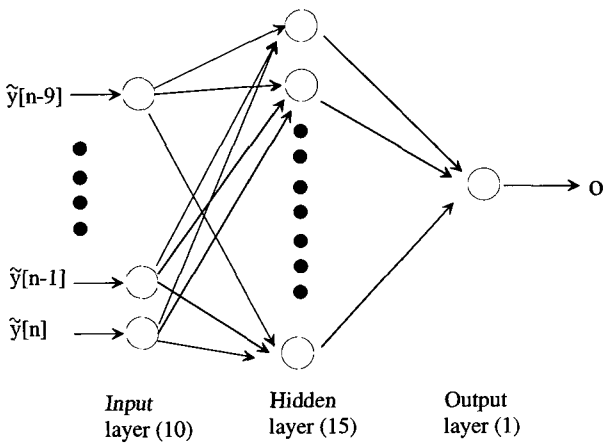


그림 6. 클릭신호의 검출을 위한 인공신경망
 Fig. 6. Artificial neural network for click detection

의 offset을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 artifact는 마우스 커서의 조작을 매우 난이하게 한다. 예를 들어, 사용자가 머리를 위로 움직여서 마우스 커서를 위로 움직이고자 했을 경우, 일단 위로 올라갔던 마우스 커서는 artifact의 영향으로 다시 아래로 내려오게 된다. 좌우방향의 움직임의 경우에도 artifact는 동일한 영향을 나타낸다. 따라서, artifact를 제거하기 위하여 필터의 차단주파수를 충분히 낮추어 0.003Hz로 설정하였으나, 고역필터의 시정수가 매우 커져서 전원 인가 시 필터 출력이 정상(steady)상태로 안정하는데 걸리는 시간이 매우 길어지는 문제가 발생하였다. 이 문제는, 그림 3과 같이 스위치와 작은 저항을 연결하고 전원 인가 직후에 이 스위치를 단락 시켜 커패시터를 방전시켜서 해결하였다.

마이크로 컴퓨터 부분은 A/D 컨버터와 시리얼(Serial) 통신 모듈, 그리고 이 모듈들을 제어하는 8bit 마이크로 프로세서(80c31)로 구성하였다. A/D컨버터는 인터페이스가 쉽고 가격이 저렴하며 사용이 편리한 ADC0809를 선택 하였다. 자이로 센서로부터 입력되는 아날로그 신호인 0V에서 +5V까지의 전압을 100Hz로 샘플링하여, 마이크로프로세서가 인식할 수 있

는 디지털 신호 0~253으로 변환한다. 센서 신호의 PC와의 통신에서는 시리얼 통신을 채택했는데, 이것은 시리얼 통신이 다른 프로토콜에 비해서 구현하기 쉽고 비용이 적게 들기 때문이다. 통신 시에는 2개 센서로부터 발생하는 2채널(channel)의 신호를 시분할(TDM: Time Division Multiplexing)방식을 이용하여 전송하였다. 2개 센서의 신호를 구분하기 위해, 디지털 신호의 254, 255를 각각 수직방향, 수평방향의 시작신호로 배정하였다.

(2) 소프트웨어 (Software)

소프트웨어는 그림 5와 같이 크게 두 부분으로 나누어진다. Offline learning부분에서는 시리얼 포트를 통해 들어온 신호에서 클릭에 해당하는 부분을 선택하여 인공신경망을 학습시킨다. Real time mouse control에서는 시리얼포트를 통해서 들어오는 실시간 데이터로 마우스커서의 상하, 좌우 움직임을 구현하고, 또한 이 중 상하의 신호를 인공신경망에 입력하여 클릭신호를 검출한다. 위의 과정을 통해 검출된 마우스커서의 움직임과 클릭 신호를 Windows에 넘겨주도록 하였다.

Offline 학습부분에서 사용된 인공신경망 모듈(Artificial neural network module)은 3층 퍼셉트론(3-layer perceptron) [11]을 사용하여 구현하였는데, 그림 6과 같이 입력층, 중간층, 출력층의 뉴런의 개수는 각각 10, 15, 1개로 하였다. 우선 그림 7과 같이, 피 실험자의 의도적인 끄덕임(nodding)에 해당되는 수직방향 가속도의 입력 패턴 3개와 자유로이 움직였을 때의 입력 패턴을 7개 선택하여, 전자의 경우에는 클릭(1을 출력)을 교사출력신호로 설정하고 후자의 경우에는 비클릭(0을 출력)을 교사출력신호로 설정하였다. 각각의 입력 패턴 벡터 \tilde{y} 는 식 (1)과 같이 10개(0.1초)의 시간지연 데이터로 구성하였다. 0~253의 $y(n)$ 값을 신경망에 입력할 때 입력값이 커서 신경망이 포화하거나 뉴런간의 웨이트(weight)가 지나치게 작아지는 것을 방지하기 위해, 식 (1)과 같이 offset제거 및 스케일링을 행하였다. 또한, 신경망의 출력으로 클릭이 발생하는 경우, 클릭의 발생위치는 클릭으로 인식된 당시의 커서위치가 아니라 클릭의 패턴이 시작된 커서위치로 하여, 클릭을 원했던 시작위치

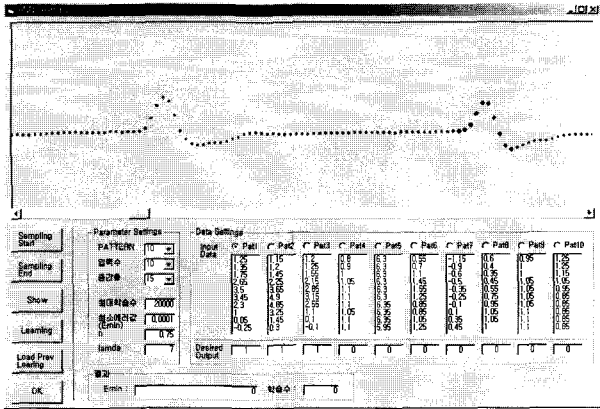


그림 7. 인공지능망 학습을 위한 인터페이스
(검은색 점은 인공지능망이 클릭신호를 출력하기 위한 첫번째 학습용 입력패턴이다)
Fig. 7. Interface for the learning of the artificial neural network
(Black dots are the first selected input pattern for the ANN to output the click signal)

에서 클릭한 것으로 인식되도록 하였다.

$$\vec{y} = [y[n], y[n-1], \dots, y[n-9]] \quad (1)$$

$$y[n] = (y[n] - 100) / 20.0$$

신경망의 학습에는 오차역전파(error back-propagation) 방법을 사용하였다. 학습의 정도를 나타내는 오차지표 E는 모든 학습패턴에 대한 에러를 합하여 식 (2)와 같이 설정하였으며, 위에서 설정한 10개의 입력패턴의 학습을 1회의 학습으로 하였다. 학습은 E가 10^{-4} 이하가 될 때 까지 반복하도록 하였다. 뉴런간의 weight는 식 (3)과 같이 갱신하도록 하였으며, 학습률 α 와 모멘텀 상수 β 는 실험적으로 결정하였다. 학습이 끝나면 자이로 센서의 신호를 실시간으로 받아들여, ANN의 실시간 출력이 클릭에 해당하는 출력인 1로부터 3%이내의 범위에 있을 때 클릭신호로 인식하도록 하였다.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (t_k - o_k)^2 \quad (2)$$

t_k : desired output for k'th input pattern (1 or 0)
 o_k : real output of ANN for k'th input pattern

$$W_{ij} \leftarrow W_{ij} + \alpha \delta_j a_i + \beta \Delta W_{ij} \quad (3)$$

W_{ij} : weight between i'th neuron on the departing layer and j'th neuron on the destination layer
 ΔW_{ij} : momentum of weight modification
 δ_j : delta of neuron which is $a_j(1 - a_j)e_j$
 a_j : the output of j'th neuron on the destination layer
 e_j : output error (output layer) or the backpropagated

error (hidden layer)

α : learning rate

β : momentum coefficient

마우스커서의 위치제어는 클릭의 인식과 동시에 병렬로 진행되었다. 식 (4)와 같이, 컴퓨터의 시리얼(RS232) 포트로 들어온 디지털 신호 $x(n), y(n)$ 에서 offset을 뺀 후 수치적분하여 마우스의 픽셀단위 위치(p_x, p_y)로 변환하였다. 따라서, 각속도가 증가하면 마우스커서의 움직임의 속도도 그에 따라 증가한다. 적분의 가중치 w_x, w_y 는 실험적으로 결정하였다. 또한 자이로스코프 신호에 포함되어 있는 작은 크기의 잡음에 반응하여 마우스 커서가 떨리는 현상을 방지하기 위해, 각속도 신호에 작은 문턱치(디지털 값으로 115~125이며 센서의 아날로그 출력으로는 2.3V~2.5V에 해당함)를 두어 이 범위에 포함되는 신호를 잡음으로 간주하여 적분에서 배제하였다.

$$p_x(n) = p_x(n-1) + w_x \cdot x(n) - 120 \quad (4)$$

$$p_y(n) = p_y(n-1) + w_y \cdot y(n) - 120$$

p_x, p_y : x and y position of the cursor (pixel unit)

w_x, w_y : weighting coefficients

$x(n), y(n)$: angular velocities of x and y direction

2. 시스템 성능 평가

개발한 시스템의 성능을 평가하기 위하여 기존의 컴퓨터 마우스 조작에 익숙한 5인의 정상인 피험자를 대상으로 다음과 같은 실험을 설계하였다. 우선, 인공지능망에 대한 평가를 위해 학습후의 클릭의 인식률을 평가하였고, 마우스의 위치제어의 평가를 위해, 수평/수직방향으로 이동하는 목표박스에 피험자가 커서가 얼마나 잘 일치시키는지를 평가하였다. 마지막으로 이동과 클릭의 종합적인 성능을 평가하는 실험을 수행하였다. 두번째와 세번째의 실험에서는 기존의 컴퓨터 인터페이스인 광마우스와 본 연구에서 개발한 자이로마우스를 각각 사용하여, 광마우스에 대한 자이로마우스의 성능을 평가할 수 있게 하였다. 경부의 제어능력이 정상인과 큰 차이가 없는 장애인을 상정할 경우, 위의 비교는 정상인의 컴퓨터 조작에 비해서 장애인이 어느 정도의 조작능력을 발휘할 수 있는지를 나타낼 수 있다.

(1) 클릭의 인식을 평가

각 피험자의 클릭신호와 비클릭신호를 학습시킨 후, 가로 세로가 모두 30픽셀인 정방형 목표박스 위에서 20회의 클릭동작을 실시하여 인공지능망이 클릭으로 인식하는 횟수를 기록하였다. 이러한 실험을 피험자 1인당 4회 실시하고, 이로부터 클릭의 평균 인식률을 산출하였다.

(2) 마우스 커서의 이동 제어 평가

그림 7과 같이 한 번의 길이가 329픽셀인 정사각형 테스트 윈도우안에서, 목표박스가 이동할 때 피험자가 마우스를 조작

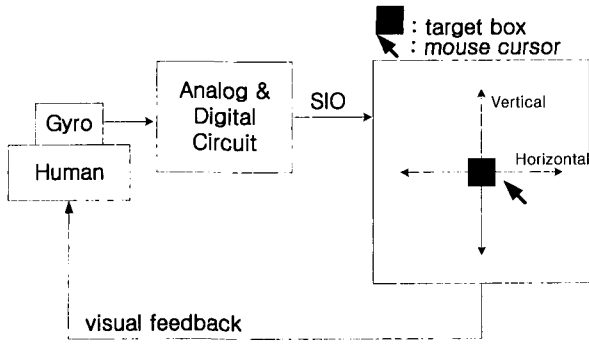


그림 8. 마우스커서의 수평, 수직 이동 제어 실험
Fig. 8. Horizontal and vertical control of the mouse cursor

하여 마우스 커서가 목표박스를 추종하도록 하였다. 피험자는 목표박스와 자신이 제어하는 마우스 커서를 화면상에서 관찰하면서 실험을 수행하였다.

이동방향별 제어능력을 평가하기 위하여, 목표박스의 연속적인 출현위치를 수평선상에 한정하는 경우와 수직선상에 한정하는 경우의 2가지 실험을 설계하였다. 예를 들어, 수평선상의 이동은, 이동범위의 정중앙에서 오른쪽 끝으로 이동한 후, 왼쪽 끝으로 이동했다가 다시 원점으로 돌아오는 것을 1회의 시행으로 하였다. 목표박스는 동일한 속도로 이동하며 1시행에 걸리는 시간은 4초로 설정하였고, 피험자 1인당 동일한 시행을 4회 반복하였다. 이러한 이동제어 평가실험을 광마우스와 자이로마우스에 대해 각각 시행하여, 광마우스에 대한 자이로마우스의 이동제어성능을 평가하였다. 각 시행에서 목표박스와 커서의 위치의 차를 제곱 평균하여 추종오차(tracking error)로 정의하였다.

(3) 이동 및 클릭 성능의 종합평가

구현된 시스템의 마우스 커서의 이동과 클릭에 관한 성능을 종합적으로 평가하기 위해, 다음과 같은 클릭-이동 실험을 설계하였다. 즉, 그림 9와 같이 현재의 목표박스 위로 마우스 커서를 움직인 후 클릭하면 목표박스가 다시 랜덤한 위치로 이동하도록 하였고, 1분간의 총 클릭횟수로 시스템의 성능을 평가하였다. 이 실험에는 목표박스를 추적하기 위한 마우스의 이동과 목표박스에 도달했을 때의 클릭의 두 가지 기능평가가 포함되어 있으므로, 단위시간당 클릭횟수가 시스템의 전체적인 성능을 나타내게 된다. 목표박스가 출현할 수 있는 전체범위인 테스트 윈도우는 한 변의 길이가 329픽셀인 정사각형으로 하였다. 각 피험자는 1일 1회의 시행을 3일간 실시하였다.

1회의 시행에서 다음과 같은 두가지 조건을 테스트하였다. 첫번째로, 본 연구에서 개발한 자이로마우스의 성능을 일반적으로 사용되는 광마우스와 비교하기 위하여, 두 가지 마우스 각각에 대한 성능을 평가하였다. 두번째로, 본 시스템을 문자입력용 인터페이스로 확장할 경우 화면에 표시될 키패드의 크기를 결정하기 위한 목적으로, 정사각형 목표박스의 한 변의 길이를 30 픽셀과 50픽셀의 두 가지로 설정하여 각각에 대한 성

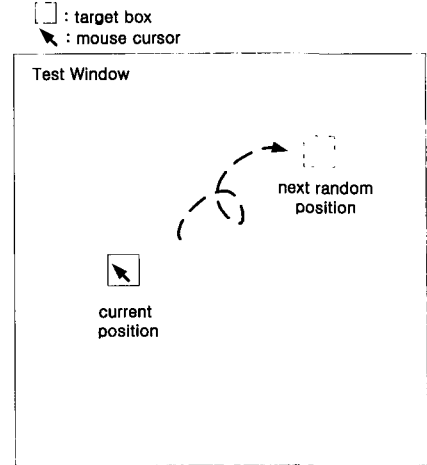


그림 9. 마우스 클릭-이동 성능 평가 실험
Fig. 9. Evaluation of mouse click and move control performance

능을 측정하였다. 따라서, 1회의 시행에서 평가되는 조건은 총 4가지 (2마우스종류*2픽셀사이즈)가 되고, 이를 3회 실시하여 1인당 총 12회의 성능평가실험을 하였다.

결 과

1. 시스템 구현

구현된 하드웨어는 센서모듈과 아날로그 및 디지털 회로로 구성된다. 미관을 고려하여 센서모듈을 안경과 일체형으로 하는 것과, 편이성을 고려하여 안경에 센서모듈의 탈부착이 가능하게 하는 것 등은 실용단계에서 고려해야 할 일이고, 본 논문의 목적이 새로운 인터페이스의 설계와 평가에 있으므로, 그림 10과 같이 시판되는 센서를 그대로 안경에 부착하였다. 아날로그 및 디지털 회로도 소형화에 크게 노력하지 않고 그림 11과 같은 prototype을 제작하였다.

소프트웨어는 방법에서 서술한 바와 같이 클릭을 인식하기 위한 인공신경망과, 마우스커서의 움직임을 구현하기 위한 적분루틴으로 구성하였다. 식 (3)에서의 인공신경망의 학습률 $\alpha = 0.7$ 로, 모멘텀 상수 $\beta = 0.7$ 로 실험적으로 결정하였다. 학습을 위한 입력패턴의 전형적인 예를 그림 12에 나타낸다. 클릭을 출력하기 위한 입력패턴이 앞의 3개이고, 뒤의 7개 패턴은 비클릭을 출력하기 위한 입력패턴이다. 오차지표 E가 10^{-4} 이하가 되기 위한 학습시간은 모든 5인의 피험자에서 1초미만으로 매우 짧았고(Pentium IV, 256M RAM 조건), 학습반복횟수는 평균 707 ± 104 회였다. 마우스 커서의 이동과 관련한 식 (4)에서의 적분가중치는 $w_x, w_y = 1/6$ 으로 실험적으로 결정하였다.

2. 시스템 성능평가

첫번째 실험, 즉 인공신경망의 학습 후의 성능을 평가한 결과를 표 1에 나타낸다. 가로 세로가 모두 30픽셀인 정방형 목

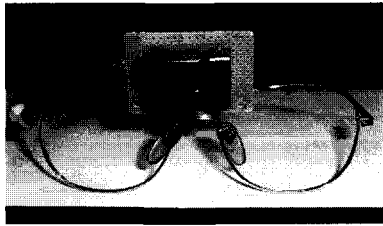


그림 10. 센서의 부착
Fig. 10. Sensor attachment

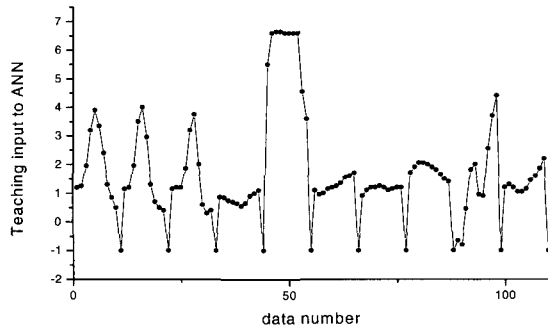


그림 12. 자이로의 신호를 입력받아 선택한 클릭과 비클릭의 입력패턴 예(-1값은 각 패턴의 끝을 의미하며, 앞의 3가지 패턴은 클릭, 뒤의 7가지는 비클릭)
Fig. 12. Example input pattern of the click and nonclick selected from the gyro-signal(-1 means the end of each pattern. The first 3 patterns are for the click and the latter 7 patterns are for the nonclick.)

표 1. 클릭조작에 대한 인공지능망의 인식률

Table 1. Recognition rate of the ANN for the intended click					
HY	HJ	LC	LS	KH	All
94±7.5	96±2.5	90±4.1	93±6.5	93±2.9	93±5.1

표박스를 20회 클릭했을 때의 평균 인식률은 모든 피험자에서 90% 이상으로서 평균 93%의 인식률을 보였다.

두번째 실험인 마우스 커서의 이동 제어 평가에 대한 결과를 그림 13에 나타낸다. 두가지 마우스 모두, 수평과 수직의 방향별 추종오차간에 통계적인 유의차는 없었다($p>0.4$). 각각의 방향에서, 광마우스와 자이로마우스의 추종오차간에는 통계적인 유의차가 있었다($p<0.01$). 수직방향 이동에 대한 추종오차는 광마우스가 11.5 ± 2.3 픽셀이고 자이로마우스가 15.7 ± 5.0 픽셀로서, 자이로마우스가 약 1.4배의 오차를 보였다. 수평방향 이동에 대한 추종오차도 광마우스가 10.9 ± 2.1 , 자이로마우스가 16.5 ± 4.2 로서 약 1.5배의 오차를 보였다.

세번째 실험 즉, 이동 및 클릭 성능의 종합평가에 대한 결과는 다음과 같다. 우선, 그림 14에 목표박스의 크기에 따른 성능을 광마우스와 자이로마우스의 경우를 비교하여 나타낸다. 양자 모두 30일 때 보다 50일 때가 많은 클릭률을 나타냈다 ($n=19, p<0.01$). 목표박스의 크기가 50픽셀일 경우, 자이로마우

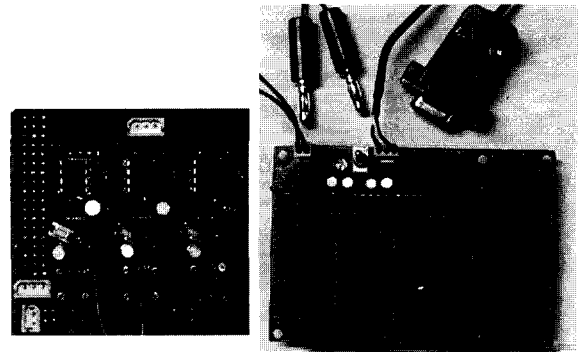


그림 11. 아날로그 및 디지털 회로
Fig. 11. Analog and digital circuit

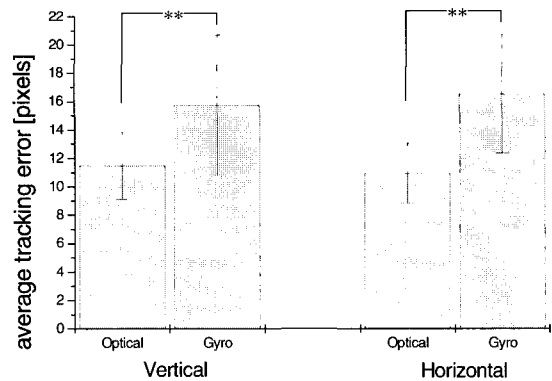


그림 13. 수직, 수평방향에 대한 평균 추종오차 ($n=19, ** p<0.01$)
Fig. 13. Average tracking errors for vertical and horizontal direction ($n=19, ** p<0.01$)

스는 1분간 평균 클릭률은 30 ± 7 로서 광마우스 75 ± 14 의 40%의 성능을 보였다. 반면 목표박스의 크기가 30픽셀일 경우, 자이로마우스의 분당 클릭률은 22 ± 7 로서 광마우스 67 ± 11 의 32%의 성능을 보였다.

그림 15에는, 이동 및 클릭성능평가실험에서 50 픽셀의 목표박스에 대한 평균 클릭률을 시행횟수(trial number)별로 나타낸다. 광마우스의 경우에는 시행횟수별 클릭률간의 유의차가 없었으나($p>0.20$), 자이로마우스의 경우에는 시행횟수가 증가할수록 클릭률이 단조 증가하는 경향을 보였다($p<0.15$). 광마우스 대비 자이로마우스의 분당 클릭률을 성능으로 하면, 이 성능은 표2와 같이 시행회차에 따라 35.2%, 39.4%, 44.0%로 단조증가하는 경향을 보였다.

고 찰

본 논문에서는 장애인을 위한 새로운 인터페이스의 설계·평가 목적을 하여, 자이로 마우스의 하드웨어와 소프트웨어를 설계하고 구현하였다. 하드웨어는 머리의 움직임(각속도)을 검출하고 증폭하여 PC로 전송하였고, 소프트웨어 부분에서

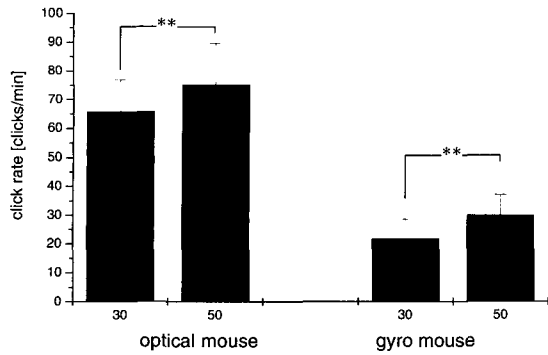


그림 14. 클릭박스의 크기에 따른 클릭률 (n=45, **p(0.01)
 Fig. 14. Click rate for different sizes of click box (n=45, **p(0.01)

표 2. 시행회차에 따른 클릭률 분석

Table 2. Analysis of click rate with respect to the trial number

Trial number	1st	2nd	3rd
Click rate[clicks/min]	27±6	30±8	33±6
Performance[%]	35	40	44

Performance = (click rate of gyromouse / click rate of optical mouse) × 100

는 입력신호를 처리하여 마우스 커서의 상하좌우 움직임과 클릭신호의 발생을 수행하였다. 현재의 하드웨어는 보다 소형화하는 것이 가능하며, 인공신경망의 학습시간은 1초 이하로서 실용상의 문제는 전혀 없을 것으로 판단된다.

구현한 인터페이스의 성능을 클릭의 인식률, 커서의 이동제어 오차, 이동출현하는 목표박스의 단위시간당 클릭율의 세가지 항목으로 평가하였는데, 클릭의 인식률은 표1에서와 같이 평균 93%로서, 이는 100번의 끄덕임중에서 93번이 클릭으로 인식된다는 것을 의미한다. 커서의 수평수직 이동 제어에 대한 결과인 그림 13에서 기존의 광마우스에 비해 자이로마우스는 1.4~1.5배의 오차를 보였다. 랜덤위치에 출현하는 목표박스의 단위 시간당 클릭률은, 그림 14와 같이 목표박스의 크기가 클수록 우수했으며, 목표박스의 한변길이가 50픽셀인 경우 광마우스의 40%의 성능을 보였다. 또한, 이러한 성능은 표 2와 같이 시행 횟수에 따라 증가하여 1회차의 35.2%에서 3회차에는 44%로 단조증가하는 경향을 보였다. 이것은 시행횟수가 증가함에 따라, 인공신경망의 학습에 사용되었던 끄덕임의 패턴을 사용자가 정확히 재현하는 능력이 향상되기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 결과를 종합하여 볼 때, 클릭의 인식과 이동제어의 면에서 자이로마우스는 기존의 마우스보다는 성능이 약간 저조하나, 목표박스의 크기를 기존의 프로그램에서 사용되는 것보다 크게 하면 실용상의 큰 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한, 시행횟수의 증가에 따라 자이로마우스는 그 성능이 크게 개선되므로, 사용자의 지속적인 사용에 의해 더욱 나은 성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

의공학회지 : 제24권, 제5호, 2003

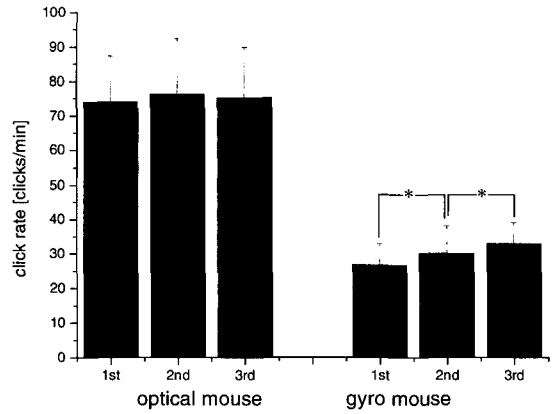


그림 15. 시행횟수에 따른 클릭률의 변화(n=16, *p(0.15)
 Fig. 15. Trial number dependence of the click rate

본 연구를 바탕으로 하여 앞으로 개선 또는 수정되어야 할 내용들은 다음과 같다. 첫번째로, 시스템의 무선화를 들 수 있다. 본 논문에서는 자이로스코우프와 인공신경망을 이용한 안경 마우스를 제안하고 그 실용가능성을 평가하는데 주안점을 두었으므로, 마우스와 컴퓨터간의 연결을 유선으로 처리하였다. 그러나, 장애인의 경우 휠체어나 침대에 누워서 마우스 조작을 할 수도 있어서 유선으로 할 경우 사용에 불편이 예상된다. 따라서, 본 논문에서의 시리얼 통신모듈을 무선 통신모듈로 교체하여 보다 많은 장애인이 사용할 수 있도록 하는 것이 요망된다. 시스템의 무선화는 미관에도 도움을 줄 수 있다.

둘째로, 온도보상회로를 들 수 있다. 자이로스코우프의 특성 중에는 온도변화에 따른 베이스라인 드리프트(drift)가 있는데, 본 논문에서는 이를 제거하기 위해서 차단주파수 0.003Hz의 고역통과 필터를 사용했다. 그러나, 극도로 낮은 주파수 성분은 제거할 수 없으므로, 실험 중에 온도변화가 생기면 자이로스코우프의 베이스라인 출력이 변화하는 문제가 있었다. 이러한 문제는 온도보상 회로를 회로에 포함시켜서 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째로, 더블클릭의 구현을 들 수 있다. 본 논문에서는 한번의 nodding을 인공신경망에 학습시켜서 이로부터 싱글 클릭을 구현하였으나, 실제 컴퓨터의 사용에서는 더블클릭의 사용도 필수적이다. 더블클릭은 본 논문에서의 싱글 클릭의 학습의 확장으로 생각할 수 있다. 즉, 두 번의 연속적인 nodding을 더블클릭으로 설정하고 이를 인공신경망에 학습시킴으로써 더블클릭을 구현하는 연구가 앞으로 수행되어야 한다.

결 론

본 논문에서 제안된 장애자를 위한 자이로마우스 시스템은, 기존의 HCI와 같이 미리 지정된 마우스 조작의 패턴을 사용자가 습득하도록 강요하기 보다는, 각 유저별 클릭 패턴을 시스템이 스스로 학습하여 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하는

다. 또한, 이 시스템에서 사용되는 머리의 움직임과 끄덕임은 통상적이고 쉬운 동작이다. 개발된 자이로마우스에서 클릭의 인식률은 평균 93%였고, 커서의 수평수직이동 제어오차는 광마우스의 1.4~1.5배였다. 랜덤위치에 출현하는 50픽셀의 목표박스의 단위시간당 클릭률은 광마우스의 40%의 성능을 보였으며, 시행횟수에 따라 증가하여 1회차의 35.2%에서 3회차에는 44%로 단조증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 자이로마우스를 장애인이 사용할 경우, 정상인이 광마우스로 마우스 커서를 조작하는 것보다는 낮은 성능을 보이지만, 실용상의 큰 문제는 없으며, 지속적인 사용에 의해 성능이 개선될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 본 시스템은 장애인에게 사회와 의사소통 할 수 있는 새로운 가능성을 제시할 것이 기대된다. 본 연구의 결과를 바탕으로 마비환자의 컴퓨터 인터페이스가 상용화 되면, 많은 수요창출이 이루어져 (1994년 일본의 경우 사지마비환자는 29,000명, 뇌질환 환자는 325,000명으로 추산됨 [10]) 사회경제에 미치는 파급효과도 클 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. <http://www.bio-bot.com/privateweb/datasheets/sensors/motion/tokingyro.pdf>
2. N. Furuse, T. Watanabe, R. Futami, N. Hoshimiya and Y. Handa., "Control command input system using residual motor function for motor disabled patients", Japanese Journal of Medical Electronics and Biological Engineering, Vol. 37, No. 2, pp. 30-38, 1999
3. Yu-Luen Chen, "Application of Tilt Sensors in Human-Computer Mouse Interface for People With Disabilities", IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 289-294, 2001
4. K. Doi, H. Higa, I. Nakamura, N. Hoshimiya and Y. Handa., "A study on method of control commands for functional electrical stimulation system using head movement", Technical Report of IEICE, Vol. 6, pp. 43-48, 1999
5. Young-Wook Kim, "Development of headset-type computer mouse using gyro sensors for the handicapped", Electronics Letters, vol. 38, No. 22, pp. 1313-1314, 2002
6. Young-Wook Kim and Jung-Hyun Cho, "A Novel Development of headset-type computer mouse using gyro sensors for the handicapped", Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, pp. 356-359, 2002
7. C. Guger, A. Schlogl, D. Walterspacher and G. Pfurtscheller, "Design of an EEG-based brain-computer interface (BCI) from standard components running in real-time under windows", Biomedizinische Technik, Vol. 44, pp. 12-16, 1999
8. S. H. Kwon and H. C. Kim, "Development of EOG-based glasses-shape wireless mouse for computer interface for the disabled", Proceedings of the 4th APCMBE, p.205, 1999
9. <http://bme.snu.ac.kr/party/posterpic/p6.jpg>
10. 日本 厚生省 社會援護局 更正課, Tokyo, 第一法規出版株式會社, 日本の身體障者 p.28, 1994
11. J.-S. R. Jang and E. Mizutani, NJ, Prentice Hall, "Supervised learning neural networks" in Neuro-Fuzzy and Soft Computing, pp. 226-257, 1997