영상 관측과 근전도 신호 계측을 이용한 주시 방향 기반 휴먼-컴퓨터 인터페이스

황 성 재, 조 승 관, 정 상 현, 문 인 혁
연세대학교 의용전자공학과
첨단 의료기기 기술혁신센터
의용계측 및 재활공학 연구센터

View direction-based Human-Computer Interface using Image Observation and EMG Signal

Sung Jae Hwang, Seung Kwan Cho, Sang Hyun Jung, In Hyuk Moon
Dept. of Medical Engineering, College of Health Science, Yonsei University
Technology Innovation Center for Medical Instruments
Research Institute for Medical Instruments and Rehabilitation Engineering
E-mail : jaezzang@hanmail.net

Abstract

This paper proposes a view direction-based human computer interface(HCI) system using image observation and EMG signal. CCD camera is available for observation relatively small angular view direction. Large angle is recognized by measuring EMG signal of the sternocleidomastoideus, because it is difficult to detect the large angular view direction by CCD observation. From experimental results, we show the proposed HCI system is useful for the disabled.

I. 서론

거동이 불편한 노인이나 C3, C4 경추 손상을 입은 머리 이하 전신마비 환자들은 자신의 의사를 전달하기 위한 휴먼-컴퓨터 인터페이스 시스템이 필요하다. 이와 같은 사용자들을 위해서 목 부분의 EMG 신호를 이용해 머리 회전 방향을 인식해서 휠체어 방향을 제어하는 연구가 제안되었다[1,3]. 그러나 실험 결과 머리의 움직임이 작을 경우 EMG 신호의 출력값이 미약해서 방향 인식이 어렵다. 한편 CCD 카메라를 이용한 비접촉식으로 얼굴 주시 방향을 인식하는 연구가 제안되었다[2]. 하지만 이 방식은 인식 가능한 얼굴 주시 방향의 범위가 매우 협소하다는 단점이 있었다.

본 논문에서는 머리의 좌-우 회전에 대하여 단일 CCD 카메라의 관측과 양쪽 목 부위의 EMG 신호를 이용해서 전방향 얼굴 주시 각도를 인식하는 방법을 제안한다. 그리고 제안된 얼굴 주시 방향각 인식 수법을 이용한 human-computer interface(HCI)를 구현한다. 실험을 통해서 제안된 인식 수법과 이를 이용한 HCI 시스템이 유용함을 보인다.

II. 영상 신호 및 근전도 신호 계측을 이용한 얼굴 주시 방향 각 인식

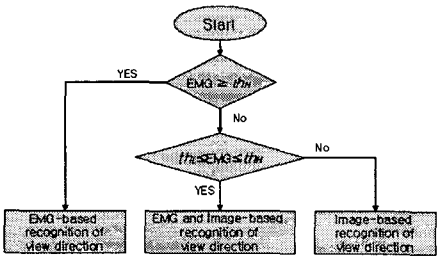


그림 3. 얼굴 주시 방향각 인식 흐름도

그림 1은 머리 회전에 따른 얼굴 주시 방향각의 인식 과정을 나타낸다. 목부위의 EMG 신호가 EMG 신호로 각도를 결정할 수 있는 최소의 문턱값(th_H) 이상일 때, EMG 신호의 계측만으로 얼굴 주시 방향각을 인식한다. 만약 EMG 신호가 미약하여 측정 가능한 최소 문턱값(th_L) 이하이면 영상 관측하여 얼굴 주시 방향각을 인식한다. EMG 신호가 유효하고 영상 관측이 가능하면 두 관측의 신뢰도에 따라 주시 방향각을 인식한다.

2.1 EMG 신호를 이용한 얼굴 주시 방향 각 측정

2.1.1 EMG 신호 검출 부위

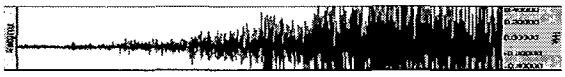
(a) (b)

그림 2. 목빗근 및 전극 부착 부위

본 논문에서 EMG 신호를 검출한 근육은 그림 2(a)에 나타낸 목빗근(sternocleidomastoideus)이다. 목빗근은 머리의 좌, 우 돌림에 관여하는 근육으로 실험적으로 목운동 시 근육이 신전(extension)될 때의 전위차가 목 부위의 다른 근육에 비해 상대적으로 뚜렷하게 나타난다. 또한 접지는 목 부위에서 가장 가까운 근육이 없는 뼈 부위 인 빗장뼈(clavicle)를 선택한다. 그림 2(b)는 전극 부착 부위를 나타낸다.

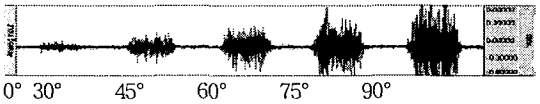
EMG 신호는 목근육 양쪽 모두 측정한다. 근육이 신전(extension)되는 곳에서 EMG 신호가 출력되므로 왼쪽 전극에서는 오른쪽을 바라볼 때, 오른쪽 전극에서는 왼쪽을 바라볼 때 EMG 신호가 출력된다. 목양쪽이 대칭성을 가지므로 그림 2(b)와 같이 목빗근 한쪽만 전극을 부착하였다.

2.1.2 EMG 신호 기반 얼굴 주시 각도 결정



0°10° 20° 30° 45° 60° 75° 90°

그림 3. 각도에 따라 증가하는 EMG 신호 출력



0° 30° 45° 60° 75° 90°

그림 4. 각 각도에 관한 EMG 신호 출력

그림 3은 머리를 0°에서 90°까지 회전할 때 출력되는 EMG 신호를 측정한 것이다. 회전 각도가 상대적으로 작을 경우(0°~30°)에는 신호의 변화를 정확히 알 수 없지만, 30°이후에는 각도에 따라 EMG 신호의 진폭이 선형적으로 커짐을 보여준다. 그림 4는 각 각도마다 3초씩 계속 한 방향을 주시하고 그때의 EMG 신호를 200.00[sample/sec] 샘플링으로 측정한 결과이다. EMG 신호와 회전각의 관계를 얻기 위해 3초 동안 얻어진 EMG 신호 중 처음 1초와 마지막 1초는 회전하는 동안의 신호가 포함되어 있을 수 있기 때문에 중간의 1초 동안의 신호만을 추출하여 절대값 평균을 취하였다.

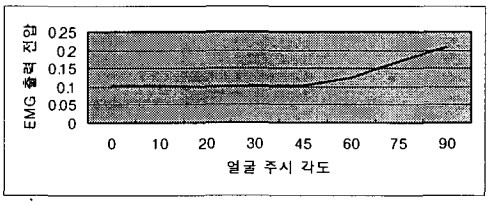


그림 7. 주시 방향각에 따른 EMG 신호 측정

그림 5는 얼굴 주시 각도에 따른 EMG 신호 출력이 45°이후에는 선형성을 가짐을 보여준다. 이 선형구간을 직선화하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$ang = \frac{90^\circ - 45^\circ}{0.234965\,V - 0.103374\,V} \times output \qquad (1)$$

식 (1)에서 *ang*과 *output*은 각각 얼굴 주시 각도와 측정된 EMG 신호 출력 값이다.

2.2 영상 관측을 이용한 얼굴 주시 방향각 측정

2.2.1 입력 영상에서 얼굴과 눈동자의 검출

그림 8. 눈동자 검출 결과

얼굴 영역을 검출하기 위해서는 입력된 영상에 색정보를 이용하여 피부색 영역을 검출한다. 검출된 피부색 영역에 휘도치가 낮은 성분들을 얼굴 특징점(눈, 눈썹, 콧구멍, 입 등)으로 간주하고 이 갯수가 5개 이상일 때 이 영역을 얼굴 영역으로 판단한다.

얼굴영역으로 판단된 영역으로부터 눈동자는 분리도 필터[2]를 적용하고, 그 결과와 양 눈동자의 기하학적인 위치관계로부터 검출한다. 우선 얼굴 특징점에 분리도 필터를 적용하여 눈과 유사한 형태와 색을 갖는 눈동자 후보들을 검출한다. 검출된 눈동자 후보들을 각각 쌍으로 묶어서 각 쌍들의 거리와 각도를 계산하여 판별식에 의해 눈동자를 검출한다.

그림 6(a)는 입력영상을, 6(b)는 검출된 얼굴영역을, 6(c)는 얼굴 특징점에 분리도 필터를 적용하여 눈동자 후보들을 검출한 영상을 나타낸다. 6(d)는 눈동자 후보들의 기하학적인 위치관계를 이용하여 눈동자 및 얼굴영역을 검출한 결과이다.

2.2.2 얼굴 주시 방향 각 결정

얼굴 주시 방향 각을 측정하기 위해서는 그림 6(d)에서 나타낸 선의 위치를 구하여야 한다. 얼굴 좌·우의 흰색 실선은 각각 얼굴 좌·우의 경계를 나타내며 얼굴 중앙의 흰색 점선은 구해진 얼굴 좌·우 경계의 중심(Fc)이다. 검은색 실선은 구해진 눈동자의 중심점(Ic)이다. 주시 방향을 판단하기 위해서는 식 (2)과 같이 변위 d를 구한다. 여기서 Fw는 얼굴 좌·우 경계의 폭이다.

$$d = \frac{Fc - Ec}{Fw} \tag{2}$$

그림 7은 피검자가 0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60°, 75°방향을 주시할 때 영상관측에 의해 얻어진 변위 d를 나타낸 그래프이다. 각 방향에 대해 5번의 실험을 실시하였다. 그림 7에서 45°까지의 결과는 선형성을 유지하는 것을 볼 수 있으며, 그 이상의 각도에서는 신뢰할 수 없는 결과가 나타났다. 이것은 주시 각도가 클 경우 한쪽 눈동자를 정확히 찾을 수 없기 때문에 변위 d의 관측이 부정확하기 때문이다. 실험 결과로부터 식 (3)과 같이 주시 방향각과 변위간의 선형화된 관계식을 얻을 수 있다.

$$ang = 350 \times d - 45^\circ \tag{3}$$

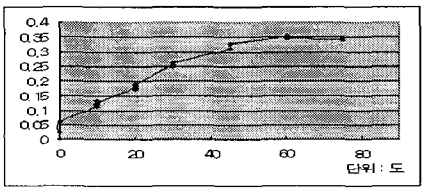


그림 9. 주시 방향각에 따른 관측된 변위 d

2.3 EMG 신호와 영상 관측의 신뢰성

머리 회전각이 작은 경우 EMG 신호가 측정되지 않는 반면 영상을 이용하여 관측 가능하다. 머리 회전각이 클 경우에는 영상관측의 신뢰성이 낮은 반면 EMG 신호는 선형적인 측정이 가능하다. 이런 상보관계에 있는 두 관측의 신뢰도를 조정해서 얼굴 주시 방향 각을 결정할 수 있다. 이러한 관계를 가중치를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$\theta_{result} = w_1 \theta_{EMG} + w_2 \theta_{IMG} \tag{4}$$

$$w_1 + w_2 = 1 \tag{5}$$

여기서 θ_{EMG}와 θ_{IMG}는 각각 EMG 신호계측과 영상관측으로부터 관측된 얼굴 주시 방향 각이다. 그리고 w_1과 w_2는 각도에 따른 EMG 신호와 영상신호의 가중치 값이고, w_1과 w_2의 합은 1이다. 그림 8은 EMG 신호는 60°이상일 때, 그리고 영상관측은 30°이하일 때 신뢰도를 100%로 하고, 30°와 60°사이에서는 EMG 신호와 영상관측이 상보적인 관계에 있다고 가정하여 가중치를 구성한 그래프이다. 먼저 EMG 신호 계측을 통해 각도가 측정되면 그림 8에 나타난 얼굴 주시 각도에 따른 관측의 가중치 관계에 의해 w_1의 값이 결정되고, 식 (5)에 의해 w_2가 결정된다. 그리고 식 (4)에 대입하면 신뢰도를 고려한 얼굴 주시 각을 추정할 수 있다.

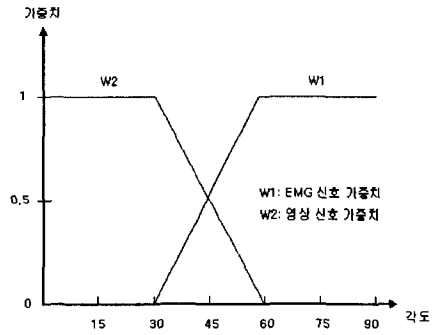


그림 10. 얼굴 주시 각도에 따른 각 관측의 가중치

III. Human-Computer Interface System

3.1. HCI 시스템

본 논문에서는 거동이 불편한 노인이나 경추 손상을 입은 머리 이하 전신마비 환자의 목빗근육 EMG 신호와 영상관측을 이용해서 사용자의 주시 방향을 인식하는 HCI를 제안한다.

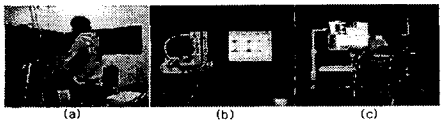


그림 11. HCI 시스템

그림 9(a)는 구성된 HCI 시스템을 보여준다. 일정한 각도 0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°를 목표방향으로 하고 EMG 신호와 영상관측을 하였다. 그림 9(b)는 EMG 신호를 측정하기 위한 Biopac사의 MP-100 시스템이다. 그림 9(c)는 영상관측을 하는 CCD 카메라를 보여준다.

3.2. EMG 신호와 영상관측을 통한 얼굴 주시각도 분석 결과

표 1. EMG 신호의 측정 결과

각도 \ 변위	측정값 (V)	계산값 (V)	정확도(%)
20°	0.010900	0.058484	18.6
30°	0.051406	0.087727	58.5
45°	0.111572	0.131591	84.7
60°	0.161824	0.175454	92.2
75°	0.210472	0.219318	95.9
90°	0.258966	0.263182	98.4

표 2. 영상관측 결과

각도 \ 변위	측정값 d	계산값 d	정확도(%)
10°	0.154	0.157	98.1
20°	0.186	0.185	99.5
30°	0.213	0.214	99.5
45°	0.260	0.257	98.9
60°	0.215	0.3	71.6
75°	0.188	0.342	54.9

표 7. 신뢰도를 고려한 EMG 신호와 영상 관측 추정 결과

변위 / 각도	EMG 관측각	영상 관측각	추정각	정확도(%)
30°	37°	29.9°	29.9°	99.6
45°	42°	46°	44°	97.7
60°	57°	30°	57°	95

표 1은 피검자가 각도 방향으로 주시할 때 측정된 값과, 식 (1)에 대입하여 얻어진 계산값을 비교해서 그 정확도를 조사한 결과이다. 머리 회전이 상대적으로 큰 경우에 높은 신뢰도를 가짐을 확인 할 수 있었다. 반면에 표 2의 영상관측의 결과를 보면 머리 회전이 상대적으로 작은 경우에 높은 신뢰성을 가짐을 확인 할 수 있었다. 표 3은 주시 방향각이 30°~60°일 경우 그림 8에 의한 가중치와 식 (4)를 이용해서 얻은 결과이다. 각도에 따른 신뢰도를 조정함으로서 높은 신뢰도를 가지는 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 영상관측과 근전도 신호 계측을 이용한 주시방향 기반의 휴먼-컴퓨터 인터페이스 시스템을 제안하였다. 양쪽 목 근육에서 나오는 EMG 신호 출력값과 얼굴 중심축에 대한 눈의 변위에 관한 영상관측을 이용해 얼굴 주시 방향각을 결정한다. 머리를 많이 회전하는 경우는 선형화된 EMG 신호 관계식을 통해서, 머리를 적게 회전하는 경우는 선형화된 영상관측 관계식을 통해 얼굴 주시 방향각을 결정한다. 머리가 30°와 60°사이로 회전하는 경우는 각 관측값에 적절한 가중치를 부여하여 높은 신뢰도를 가지는 얼굴 주시 방향각을 추정할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 휴먼-컴퓨터 인터페이스 시스템을 기반으로 장애인이나 경추 손상에 의한 머리 이하 전신마비환자들의 의사전달을 위한 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 한정수 외 7인, "Development of an EMG-based Powered Wheelchair Controller for Users with High-level Spinal Cord Injury", ICCAS2001

[2] 정상현, 문인혁, "얼굴 주시방향 인식을 이용한 장애자용 의사 전달 시스템 ", 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집 4, 제24권, 제1호, pp.175-178. 2001.

[3] Armando B.Barreto, Scott D. Scargle, Malek Adjouadi "A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities", J. of Rehabilitation Research and Development, Vol. 37, No. 1, 2000.