고주파수 시유발지속전위를 이용한 뇌-컴퓨터 인터랙션

문성철*, 박민철*,**
*한국과학기술연구원 센서시스템연구센터
**과학기술연합대학원대학교 HCI 및 로봇응용공학과
e-mail : minchul@kist.re.kr

Brain Computer Interaction Based on Steady-State Visually Evoked Potential Evoked by High Frequencies

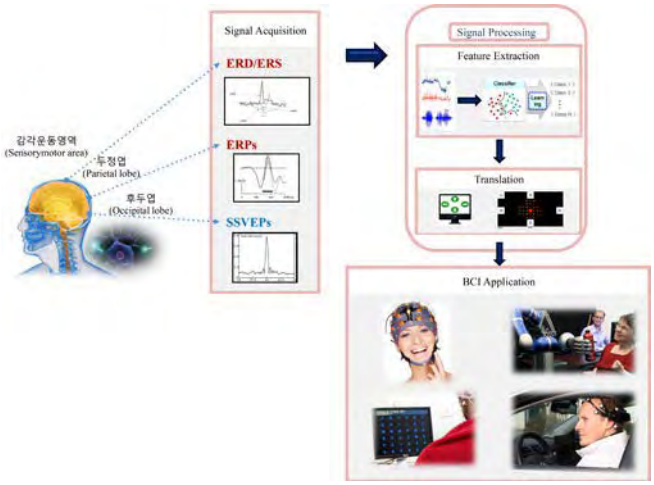
Sungchul Mun*, Min-Chul Park*,**
*Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology
**Dept. of Human Computer Interaction and Robotics, Korea University of Science and Technology

요 약

3D 디스플레이 기술이 발달함에 따라 3 차원 공간에서의 뇌-컴퓨터 인터랙션 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 3D 디스플레이 기술은 사용자에게 실재감과 몰입감을 부여하여 특정 태스크를 수행할 때 사용자 태스크 퍼포먼스를 향상시킬 수 있다. 이와 같은 3D 입체감이 주는 긍정적 효과에 대한 연구는 교육, 주의력 향상, 엔터테인먼트를 목적으로 하는 뇌-컴퓨터 인터랙션 분야에서도 활발히 이루어지고 있다. 뇌-컴퓨터 인터랙션을 구성하는 뇌파성분에는 시각, 청각, 촉각 유발지속전위, 사건유발전위, 사건관련 동기/비동기화 성분, 느린 피질전위 등이 있다. 이 중 시유발 지속전위를 이용한 뇌-컴퓨터 인터랙션 기술은 오브젝트 콘트롤을 위한 사전훈련이 거의 요구되지 않으며 높은 정보전달율을 가지는 것을 특징으로 하기 때문에 최근 널리 사용되고 있다. 그러나 저주파수 대역의 명멸자극이 유발하는 피로감으로 인해 사용시간이 제한적인 한계점이 있다. 따라서, 본고에서는 유발뇌파의 일종인 시유발지속전위를 이용한 뇌-컴퓨터 인터랙션 기술을 소개하고 3D 홀로그램 인터랙션 수행 시 피로감을 최소화할 수 있는 방안에 대해 논의 하고자 한다.

1. 서론

최근 3D 디스플레이 기술이 발전함에 따라 스테레오스코픽 3D, 다시점 3D, 프리즘 어레이 기반 디스플레이를 활용한 콘텐츠 개발 및 관련 휴먼팩터 연구가 진행되고 있다[1-3]. 이러한 연구는 기존 스테레오스코픽 3D 방식이 유발하는 시각피로를 최소화하고 자연스러운 입체감과 실재감을 제공하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 뇌-컴퓨터 인터랙션 분야에서도 3D 디스플레이의 자연스러운 입체감을 사용자에게 제공함으로써 사용자의 몰입감을 향상시켜 특정 태스크 퍼포먼스를 향상시키기 위한 다양한 인간공학적 접근이 이루어지고 있다[4,5]. 기존의 뇌-컴퓨터 인터랙션(Brain-Computer Interaction) 기술은 루게릭 병(ALS, Amyotrophic Lateral Sclerosis) 환자들을 위한 대체 커뮤니케이션 수단을 제공하는 것을 목적으로 하였다. 그러나, 최근 뇌파트레이닝의 일종인 뉴로바이오피드백과 뇌신경활동을 간접적으로 추정할 수 있는 뇌파를 분석하여 소비자의 감성과 구매패턴을 분석하는 뉴로마케팅 등의 영향으로 뉴로이미징과 교육, 주의력 향상, 엔터테인먼트를 목적으로 하는 뇌-컴퓨터 인터랙션에 대한 관심이 높아지고 있다. 그림 1 에서 보는 바와 같이, 뇌-컴퓨터 인터랙션을 구성하는 뇌파에는 6 Hz 이상의 밝은 명멸자극에 의해 유발되는 시유발지속전위(SSVEP, Steady-State Visually Evoked Potential), 표준자극과 표적자극의 확률조정 혹은 표적간 랜덤간격 조정에 의해 유발되는 사건유발전위(ERP, Event-Related Potential), 주로 손과 발의 움직임과 그 상상동작에 의해 유발되는 사건관련 동기/비동기화(ERD/ERS, Event-Related Desynchronization/Event-Related Synchronization) 등이 있다.

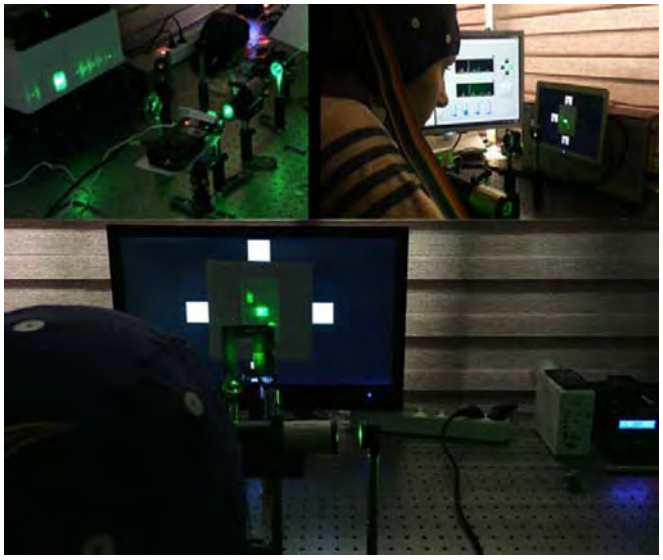


(그림 1) 뇌-컴퓨터 인터랙션 기본구성 플로우차트

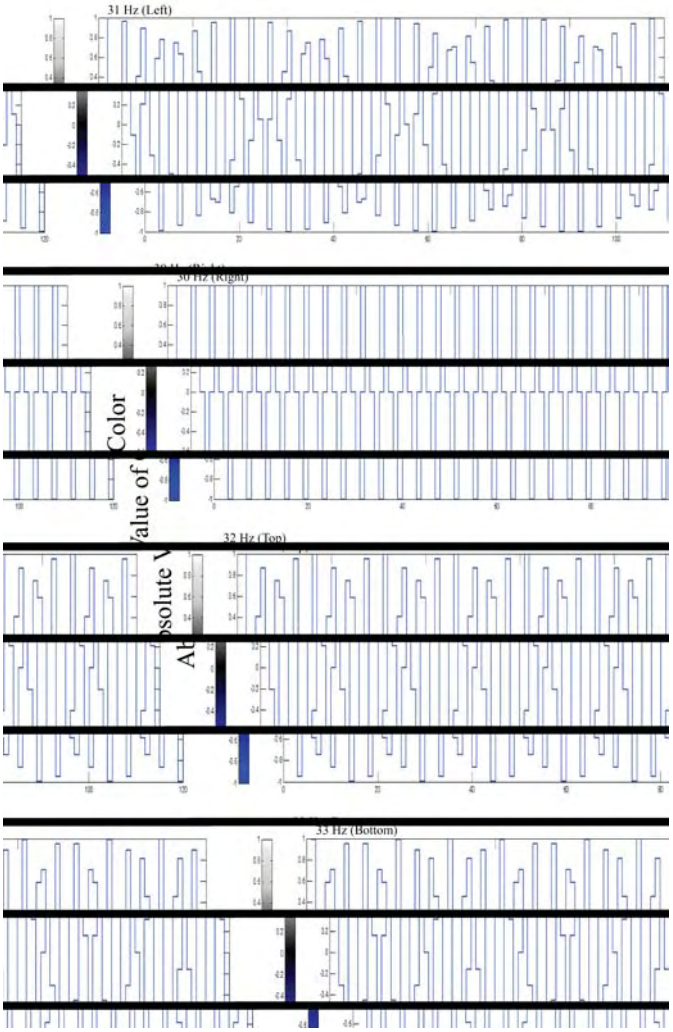
이 중 정보전달율(ITR, Information Transfer Rate)이 높고 트레이닝이 거의 필요 없는 시유발지속전위에 기반한 뇌-컴퓨터 인터랙션 방법이 각광받고 있다. Lalor 등[6]은 3D 오브젝트가 주는 몰입감을 활용한 시유발지속전위 기반 3D 밸런스 게임을 제안하고 그 활용성을 증명하였다. 문성철 등[4]도 스테레오 스코픽 3D 가 주는 입체감을 이용하여 시유발 지속전위 기반 BCI 를 제안하고 개인 3D 민감성에 따른 퍼포먼스 향상을 보고하였다. 그러나, 기존연구들은 시유발지속전위를 유발하기 위해 25 Hz 이하의 저주파수 대역을 사용하였다. 이는 저주파수 대역에서 시유발지속전위가 크게 유발되기 때문인데 신호가 큰 장점을 가진 반면에 밝은 자극의 명멸성이 눈에 주는 시각적 로드로 인해 시각피로를 유발한다는 단점이 존재한다. 또한 광과민성 발작 기왕력이나 가족력이 있는 사용자의 경우 15~25 Hz 사이의 주파수 대역은 광과민성 발작을 유발할 수도 있다는 위험성이 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 시각적 피로와 광과민성 발작을 최소화하고 자연스러운 입체감을 제공할 수 있는 고주파수 대역의 시유발지속전위 기반 홀로그램 인터랙션 방식에 대해 제안하고자 한다.

2. BCI 시스템 구성

고주파수 대역(30 Hz 이상)을 이용하여 시유발 지속전위를 유발할 경우 저주파수 대역을 이용할 때보다 약한 전위의 진폭이 유발된다. 그러나 저주파수 대역을 이용할 경우 시유발지속전위 진폭은 높으나 신호대 잡음비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)는 고주파수 대역보다 떨어진다. 이는 개안으로 인한 알파파 억제현상(α-wave blocking)과 안정적 낮은 각성 상태와 정신적 활동을 할 때 유발되는 배경뇌파인 알파파와 베타파의 영향으로 사용자가 의도치 않게 명령어가 전달되는 오류(FP, False Positive)가 발생할 가능성이 상대적으로 크기 때문이다.



(그림 2) 고주파수 시유발지속전위를 이용한 OSH 홀로그램 뇌-컴퓨터 인터랙션 방식



(그림 3) 본 연구에서 사용된 고주파수 명멸자극 구현방법

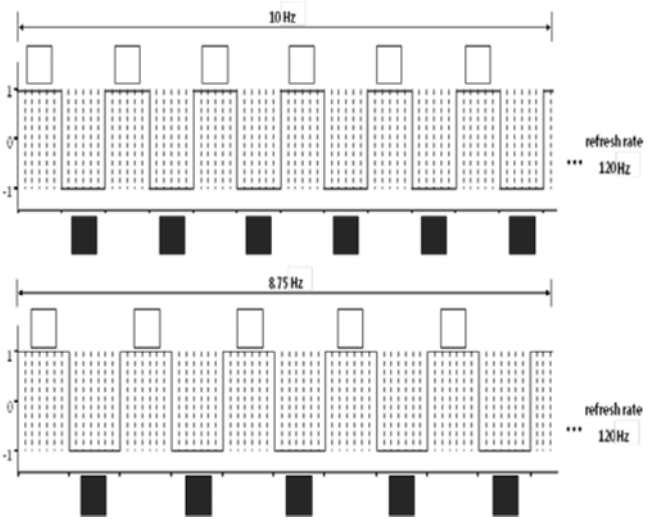
그림 2 와 3 에서 보는 바와 같이, OSH 방식으로 재현된 홀로그램 오브젝트를 조작하기 위해 고주파수 대역을 사용하여 시유발지속전위를 유발하고 뇌-컴퓨터 인터랙션 방식으로 사용이 가능한지를 사전연구로서 테스트하였다. 선행논문[4]에 따라 신호처리는 조화주파수에 따른 SNR 을 비교 분석하여 아래와 같이 처리하였다.

$$Normalized\ SSVEP\ Power(NSP_i) = \sum_{ch=1}^{k} \frac{MeanSH_j\{Max(\int_i \pm \Delta\int)\}}{MeanRH_j\{Max(\int_i \pm \Delta\int)\}} \Big/ k$$

$$Normalized\ Power\ Ratio\ (NPR) = \frac{NSPi}{\sum_{i=1}^{3} NSPi}$$

∫ i = 30, 31, 32, 33 Hz; SH j= 각 명멸자극의 시유발 지속전위 진폭, 2 조화 주파수 진폭; RH j = 레퍼런스 상태의 각 명멸자극 주파수에 해당하는 시유발 지속전위 진폭, 2 조화 주파수 진폭; k = 기록 전극(O_1, O_2); Δ∫ = ± 0.4 Hz.

그림 4 에서 보는 바와 같이, LCD 모니터를 사용하여 일반적인 방법으로 시유발지속전위 자극을 만들 경우 정해진 모니터 화면주사율의 한계로 인해 사용할 수 있는 주파수 대역이 제한적이다.



(그림 4) LCD 모니터를 이용한
일반적 시유발지속전위 자극 구현방법

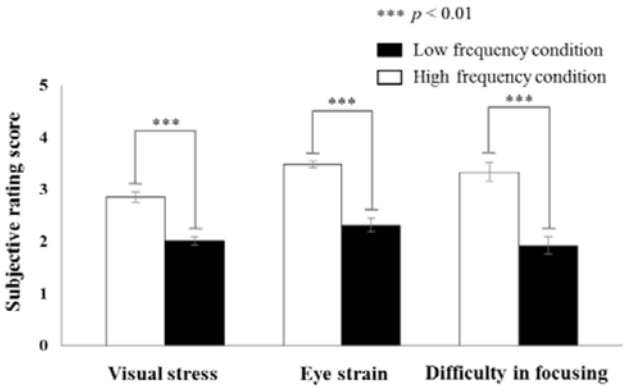
따라서, 비슷한 대역의 고주파 명멸자극 생성을 위해 23 인치 LCD 모니터(화면주사율: 120 Hz)상에서 선행논문[7]을 참조하여 그림 3 과 같은 방법으로 자극을 구현하였다. 선행논문의 구현방법과는 달리, 본 연구에서는 흰색과 검정색의 밝은 명멸자극이 유발하는 시각적 피로감을 완화하기 위해 파란색과 흰색 사이의 상대적인 색 조절을 통해 명멸자극을 구현하였다.

3. 시각피로 평가

고주파 대역 시유발지속전위 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스의 시각적 피로감을 평가하기 위해 다섯 명(여 1, 평균나이: 26.2±0.84)의 실험참가자를 대상으로 주관적 평가를 실시하였다. 시각피로 평가에 사용된 주관적 평가지는 선행논문 [8]을 참고하였다. 시각적 스트레스, 안구통증, 신체적 통증, 상호림 요인 중 신체적 통증을 제외한 세 요인에 대한 주관적 경험을 5 점 리커트 척도로 20 분 동안의 BCI 태스크 후에 평정하게 하였다. 대조실험을 위해 피험자내 설계로 같은 BCI 시스템을 저주파수 대역[3.75 Hz(아래), 4.285 Hz (우), 5 Hz (좌), 6 Hz (위)]으로 설정하여 주관적 시각피로도를 평정하게 하였다. 실험은 순서효과와 이월효과를 최소화하기 위해 각 태스크 간 휴식기간을 둔 역균형설계로 실시하였다.

4. 결과 및 논의

실험참가자의 주관적 평가 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 각 요인의 역문항을 제외한 데이터에 대해 신뢰도 검정을 실시하였다. 신뢰도 검정결과 각 요인을 구성하는 문항 중 Cronbach's α 값이 0.8 이하인 문항은 제외하고 각 요인에 대한 평균 값을 산출하여 대응표본 t-검정을 실시하였다. 분석결과 그림 5 에서 보는 바와 같이, 저주파 대역의 자극을 사용할 때보다 고주파 대역을 사용할 때 시각적 피로도가 유의하게 감소됨을 확인하였다[시각적 스트레스(t[4] = 14.142, p < 0.001), 안구통증(t[4] = 6.859, p = 0.002), 상호림(t[4] = 4.882, p = 0.008)].



(그림 5) 저주파 대역 vs. 고주파 대역
시유발지속전위 기반 뇌-컴퓨터
인터랙션 방식의 시각적 피로감 비교

본 논문은 시유발지속전위 기반 뇌-컴퓨터 인터랙션수행 시 유발될 수 있는 시각피로를 최소화하기 위해 고주파수 대역(30 Hz 이상)을 이용하여 시스템을 구성하고 그 가능성을 테스트하였다. 테스트 결과 사용자는 의도대로 홀로그램 오브젝트를 움직일 수 있었으며 기존의 저주파수 대역을 사용할 때 보다 시각피로가 크게 줄었음을 보고하였다. 향후 연구에서는 본 고에서 제안된 뇌-컴퓨터 인터랙션 시스템에 대해 일정 시간 동안 (30 분 이상) 사용하게 한 이후의 객관적(뇌파, 심전도 측정) 및 주관적 사용자 경험(시각피로, 몰입감, 실재감)에 대한 종합적인 검증을 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 '범부처 Giga KOREA 사업' 의 일환으로 수행하였음. [GK15C0100, 기가급 대용량 양방향 실감 콘텐츠 기술 개발]

참고문헌

[1] Mun S., Park M.-C., Park S., & Whang M. "SSVEP and ERP measurement of cognitive fatigue caused by stereoscopic 3D," Neuroscience Letters, 2012, 525(2), 89–94.

[2] Mun S., Kim E., & Park M.-C. "Effect of mental fatigue caused by mobile 3D viewing on selective attention: An ERP study," International Journal of Psychophysiology, 2014, 94(3), 373–381.

[3] Mun S., Park M.-C., Sumio Y., "Evaluation of viewing experiences induced by a curved three-dimensional display," Optical Engineering, 2015, In Press.

[4] Mun S., Park M.-C., & Yano S. "Performance comparison

of a SSVEP BCI task by individual stereoscopic 3D susceptibility," International Journal of Human-Computer Interaction, 2013, 29(12), 789–797.
[5] Mun S. & Park M.-C. "Affective three-dimensional brain-computer interface created using a prism array-based display," Optical Engineering, 2014, 53(12), 123105.
[6] Lalor E.C., Kelly S.P., Finucane C., Burke R., Smith R., Reilly R.B., & McDarby G. "Steady-State VEP-Based Brain-Computer Interface Control in an Immersive 3D Gaming Environment," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005, 19, 3156-3164.
[7] Chen X., Chen Z., Gao S., & Gao X. "A high-ITR SSVEP-based BCI speller," Brain-Computer Interfaces, 2014, 1(3-4), 181-191.
[8] Li H.C.O. "Human factor research on the measurement of subjective three dimensional fatigue," Journal of Broadcast Engineering, 2010, 15(5), 607–616.