

정상상태시각유발전위를 이용한 Mirror Neuron System 기반 BCI 시스템 개발

Development of Mirror Neuron System-based BCI System using Steady-State Visually Evoked Potentials

이상경 · 김준엽 · 박승민 · 고광은 · 심귀보*

SangKyung Lee, Jun-Yeup Kim, Seung-Min Park, Kwang-Enu Ko, and Kwee-Bo Sim*

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

정상상태시각유발전위 (Steady-State Visually Evoked Potentials)는 특정 주파수를 가진 시각자극에 대한 자연반응 신호이며 3.5Hz~75Hz의 주파수 범위를 갖는 시각 자극에 의해 동일한 주파수로 후두엽 영역이 전기적 활성화되는 특성이 있다. 본 논문에서 이러한 SSVEP 특성을 기반으로 EEG 분석을 수행하는 실험 패러다임을 구축하여 행동유발특성을 가지는 특정 객체에 대한 영상입력 시각자극에서의 주파수 패턴에 대응하는 EEG의 주파수 특징을 검출하고 이를 기반으로 객체와 관련된 행동유발특성을 Mirror Neuron System을 통해 측정한다. 이 때 측정된 EEG 기반 행동유발특성 데이터에 대한 선형판별분석을 수행하여 객체 패턴분류를 실시간으로 수행한다. 이러한 SSVEP 관측 실험을 기반으로 사용자의 내재적 의도를 파악하기 위한 Brain-Computer Interface (BCI) 시스템을 제안했다. Speller 등으로 대표되는 기존의 SSVEP 응용시스템은 격자영상패턴에 대응하는 뇌파특성 분석에 따른 패턴분류의 수행이 가능하나 본 논문의 SSVEP 기반 BCI는 다양한 형태의 사물을 입력객체로 활용하여 분류가 가능함으로 인해 범용성이 높아졌다.

키워드 : 정상상태시각유발전위, Mirror Neuron System, 선형판별분석법, EEG, 뇌-컴퓨터 인터페이스

Abstract

Steady-State Visually Evoked Potentials (SSVEP) are natural response signal associated with the visual stimuli with specific frequency. By using SSVEP, occipital lobe region is electrically activated as frequency form equivalent to stimuli frequency with bandwidth from 3.5Hz to 75Hz. In this paper, we propose an experimental paradigm for analyzing EEGs based on the properties of SSVEP. At first, an experiment is performed to extract frequency feature of EEGs that is measured from the image-based visual stimuli associated with specific objective with affordance and object-related affordance is measured by using mirror neuron system based on the frequency feature. And then, linear discriminant analysis (LDA) method is applied to perform the online classification of the objective pattern associated with the EEG-based affordance data. By using the SSVEP measurement experiment, we propose a Brain-Computer Interface (BCI) system for recognizing user's inherent intentions. The existing SSVEP application system, such as speller, is able to classify the EEG pattern based on grid image patterns and their variations. However, our proposed SSVEP-based BCI system performs object pattern classification based on the matters with a variety of shapes in input images and has higher generality than existing system.

Key Words : Steady-State Visually Evoked Potentials, Mirror Neuron System, Linear Discriminant Analysis, EEG, Brain-Computer Interface

1. 서 론

접수일자 : 2011년 11월 19일

심사(수정)일자: 2011년 11월 19일

게재확정일자 : 2012년 2월 1일

* 교신 저자

본 논문은 본 학회 2011년도 추계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

감사의 글 : 본 논문은 한국연구재단 중견연구지원사업(No. 2011-0029861)에서 지원하여 연구하였습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

최근 기존의 키보드나 마우스와 같이 사용자에게 의한 수동적인 명령형을 수행하는 방식보다는 인터페이스 시스템 스스로가 능동적으로 사용자의 의도를 파악하고 해당하는 서비스를 추론 및 제공할 수 있는 Human Computer Interaction (HCI)의 구현에 많은 연구가 집중되고 있다. 현재는 과도기적 집중 시기라고 할 수 있으며, 스마트 폰, 태블릿 PC 등 기존 인터페이스 시스템에서 사용자와 컴퓨터 간 명령 매개 장비에 대한 혁신적인 변화를 위주로 연구되고 있는 실정이다. 이러한 매개 인터페이스 장비는 주로 엔터테인먼트 분야에서 큰 영향력을 발휘하고 있다. 예를 들어 마이크로소프트-KINECT 시스템은 보다 저렴한 비용으로 3차원 스테레오 카메라 못지않은 영상 정보 획득이 가능

하며, 행동인식, 모션캡처 기능의 구현을 통해 게임, 가상현실 등 다양한 엔터테인먼트 플랫폼과 연동되어 보다 혁신적인 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다는 장점이 있다 [1]. 하지만 궁극적인 HCI를 구현하기 위해서는 직접적인 명령보다 사용자의 행위, 생체적 신호 등 무의식적으로 발현되는 내재적 명령 또는 의도에 대한 수집기능과 이를 자동적으로 분석할 수 있는 구현에 대한 연구가 필요하다.

이와 관련하여 우리가 집중해볼만한 분야는 시각적 데이터에 대한 인간의 내재적 반응에 관련된 생체신호를 기반으로 해석하는 연구이다. 대표적인 연구 분야로 Brain-Computer Interface (BCI) 연구가 있다. 인간의 뇌는 다수의 신경세포로 구성되어 있어 전기적인 활성화 정도를 측정 가능하며, 이를 BCI 기술을 활용하는 방식으로 주로 연구가 진행되어져 왔다. 이러한 특성은 결국 사용자의 생각을 HCI 시스템의 입력으로 활용함으로써 가장 직관적인 인터페이스의 구현을 가능하게 한다 [2]. 사람의 표면적인 의사와 숨겨진 심리는 상반될 가능성이 있지만 ‘뇌’를 기반으로 하는 생체적 반응은 자율신경계 변화에 근거하는, 인간의 내재적 명령에 대한 가장 정확한 정보가 될 수 있다. 현재, BCI 연구는 심리학, 의학, 공학 등 학제 간의 융합을 통해서 연구가 진행되어지고 있으며 뇌의학, 뇌과학 등의 기초과학분야에서 뉴로 마케팅과 같은 응용사회분야까지 다방면에 걸쳐 그 가능성을 인정받고 있다. 이와 같은 BCI 연구는 차세대 인터페이스의 유력한 대안으로 뇌파 연구의 증진과 BCI 기술의 활용확대에 힘입어 많은 발전을 이루었다 [3].

BCI를 위해서는 뇌 기능 및 활동에 대한 측정 및 분석을 기반으로 사람의 의도를 선 예측 후 이를 응용 시스템에 적용해야한다. 뇌 신경세포의 활동을 측정하는 방법은 침습적인 방법과 비침습적인 (non-invasive) 방법으로 구분되는데, 공학적 분야에서의 접근은 뇌파에 대한 측정의 용이성과 활용성을 고려하여 후자를 더 많이 사용한다. 그 중에서도 Electroencephalography (EEG)는 비침습적 뇌 활동 측정방법의 대표적인 예로서, 시간분해능이 fMRI, fNIRS 등의 다른 비침습적 방법에 비해 높아 실시간 분석이 가능하다. 하지만 현재까지 연구된 수준의 EEG 기반 BCI 시스템으로는 보다 다양한 명령입력이나 의도를 파악하기는 힘들다. 또한, 안면 근육의 움직임 등의 외부적 요인에 의한 노이즈가 유입되기 쉬우며, 뇌 영역 별 신호들이 복합적으로 발생하기 때문에 영역 별 세부기능을 EEG만을 이용하여 분석하기는 어렵다. 이를 극복하기 위한 하나의 방법이 외부자극을 적용하여 대응 뇌파를 의도적으로 유발함으로써, BCI 시스템에 입력되는 명령을 생성하는 것이다. 대표 사례로 P300을 기반으로 하는 Speller 시스템이 있다 [4][5].

본 연구에서는 EEG에 대한 유발전위 측정을 기반으로 특정 객체에 관련된 사용자의 집중도를 판단하고 이를 기반으로 의도를 분석하는 연구를 진행하고자 한다. 이를 위해 본 연구실에서 진행된 SSVEP 연구 [15]를 기반으로 일반적인 정상상태시각유발전위 (Steady-State Visually Evoked Potentials, SSVEP)는 뇌 후두엽 (Occipital Lobe)에 시각피질이라고 하는 시각중추가 있으며 시각정보가 시각피질에 도착하면 사물의 위치, 모양, 운동 상태 등을 분석한다. SSVEP는 특정 주파수를 가진 시각자극에 대한 자연반응 신호이며 3.5Hz~75Hz의 주파수 범위를 갖는 시각 자극과 동일한 주파수로 후두엽 영역에서 전기적인 활동을 발생시키는 특성이 있다. 이 때 발생한 주파수 신호를 이용하여 응용 시스템을 제어할 수 있다 [6]. 본 논문에서는 기존의

SSVEP 실험을 기반으로 EEG 측정 패러다임과 SSVEP 기반 BCI 시스템을 통해 사용자가 집중하고 있는 객체와 그에 대응하는 행동유발특성 (affordance) 을 인식하고, 이를 이용해 사용자의 의도를 추론하는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 뇌파 신호 전처리과정

뇌파는 일반적으로 brain activity의 성능을 향상 시키기 위해 인식률을 높이는 방법이 여러 가지가 있다. 가장 기본적인 원리는 전처리 과정(preprocessing)을 통해 잡파 (artifacts)를 제거하여 주는 것이다[7].

EEG 신호는 시간에 다른 μV 의 값을 연속적으로 얻어내는 것이다. 따라서 EEG 신호는 ADC를 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환을 한다. 이 과정에서 샘플링 주파수가 필요하게 된다. 보통은 128Hz, 256Hz, 512Hz를 많이 사용하게 된다. 512Hz의 샘플링 주파수의 경우 1초에 약 512개의 이진 데이터를 받게 된다. 따라서 1분이 될 경우 연산량은 많아지게 된다. 또한 이것이 각 채널별로 이루어지는 것이어서 많은 연산량을 필요로 하게 된다. 따라서 기타 디지털 신호와 달리 EEG 신호는 많은 연산을 효율적으로 처리하기 위하여 전처리 과정이 중요하게 되는 것이다.

주파수 대역 필터를 사용하여 특정 영역의 주파수만을 통과 시키거나 ICA (Independent Component Analysis)나 LDA (Linear Discriminant Analysis)와 같은 특징 추출 알고리즘을 이용하여 잡파를 제거해 주기도 한다. ICA는 BSS(Blind Source Separation) 문제를 해결하기 위해서 개발된 신호처리 방법으로서, 종래에 많이 쓰이던 PCA (Principle Component Analysis)와 달리 중첩된 신호들 사이에 직교성(orthogonality)을 요구 하지 않는다[8].

2.2 10-20 전극배치 방법

일반적인 배치법은 20채널이하의 장비에서 10-20 배치방법을 사용한다. 10-20 배치법은 국제 뇌과학학회에서 정한 규격으로 이다. 전극의 부착 부위는 대뇌부위에 따라 전두부(Frontal), 중심부(Central), 두정부(Parietal), 측두부(Temporal), 후두부(Occipital), 전두극부 (frontopolar)로 19개의 두피전극을 기본으로 사용한다. 실험 시 전극의 개수는 실험 목적에 따라 달라 질수 있으며, 추가적으로 2개의 전극을 추가해 21개로도 사용할 수 있다. 부착 위치는 비근점(nasion)과 외후두용기정점, 콧바퀴 윗 부분을 연결한 둘레 선을 기준으로 10%, 20%, 20%에 대칭되게 등고선과 같이 부착한다. 예를 들어 비근점(nasion)과 외후두용기정점의 둘레가 70cm이라고 하면 반측반구가 되는 35cm 지점과 7cm, 14cm가 되는 지점에 부착된다.

전극의 명칭은 부착위치의 영어명과 숫자를 사용한다. 각각의 전극의 부착위치를 쉽게 파악할 수 있도록 전두부는 F, 중심부는 C, 두정부는 P, 측두부는 T, 후두부는 O를 사용한다. 뒤에 오는 숫자는 좌측은 홀수, 우측은 짝수로 정의하고 안에서 밖으로 숫자가 증가한다. 이때 가운데 전극은 숫자 ‘0’으로 정의하면 전극 ‘o’와 혼돈우려가 있어 알파벳 ‘z’로 정의했다.

그림 1은 머리 표면위에 뇌파 전극을 부착하는 위치와 측정하는 모습의 그림을 보여준다. 국제적으로 MCN 시스

템을 사용하지만, 일반적인 경우는 International 10-20 system을 사용하였다. 전극 형식은 개별적인 독립형 방식이 있고, cap에 모든 채널이 고정되어서 사용자의 편리성을 높인 일체형이 있다. 본 연구실에서는 NeuroScan사의 Synamps2 64Channel QuickCap을 사용하였다.

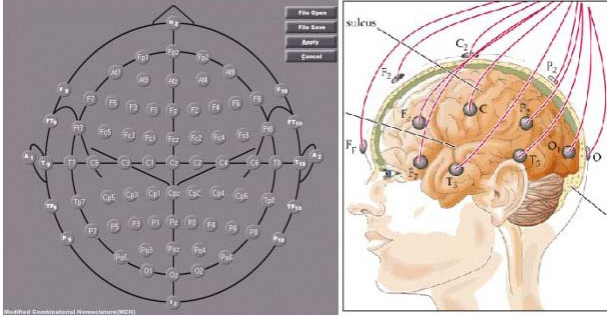


그림 1. 국제적 10-20 전극 배치법
Fig 1. International 10-20 System

2.3 정상상태시각유발전위

정상상태시각유발전위 (SSVEP)기반의 BCI는 뇌의 광동구 반응 (photic driving response, PDR) 현상을 사용한다. 뇌의 광동구 반응은 특정주파수로 점멸되는 하나의 섬광이나 패턴을 사용자가 집중해 바라볼 때 동일한 주파수가 후두엽 시각피질에서 측정되는 현상이다. 후두엽 시각피질에는 섬광주파수의 배수가 되는 하모닉 주파수 성분의 뇌파도 활성화된다 [2]. 예를 들어 5Hz의 주파수로 점멸하는 패턴을 사용자가 응시하면 10Hz, 15Hz등의 주파수도 함께 나타난다. 사용자는 하나의 패턴이나 섬광에 집중하면 되므로 BCI시스템에서 뇌파분석 및 BCI의 컨트롤 제어 분야에 많이 사용되어진다. 대표적인 예로 문자입력을 위한 speller나 게임에서 특정 캐릭터의 방향제어 같은 입력 보조 장치로 사용되고 있다.

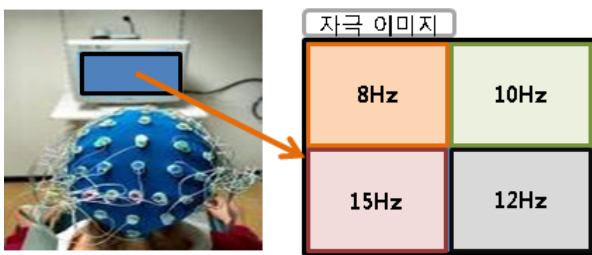


그림 2. 일반적인 SSVEP 관련 실험패러다임
Fig. 2. General Experimental Paradigms associated with SSVEP

본 논문에서 실험 방법은 그림 2과 같이 EEG 장비를 부착한 후 화면에 각기 다른 패턴의 주파수를 사용자에게 제시한다. 이때 제시되는 자극패턴은 그림 3과 같이 서로 다른 체크무늬나 사각 형태의 패턴을 교차시켜 주파수를 생성한다. SSVEP 신호의 경우, 체크무늬가 가장 좋은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다[2][3].

SSVEP를 이용한 뇌파실험의 경우, 실험설계가 간단하며, 피험자의 학습시간이 짧다. 피험자는 외부 자극인 여러

개의 섬광이나 패턴 중에서 하나의 자극에 집중하면 후두엽에 즉각적으로 나타난다. 따라서 이 방법은 운동심상(motor imagery)과 같이 일정한 뇌파를 생성하기위한 훈련이 필요 없다. 응시 패턴 판별은 최소 Oz의 1개 전극과 측정된 신호를 주파수 분석과 선형판별 같은 분류 알고리즘을 사용하여 실시간 분석이 가능하다 [2][3].

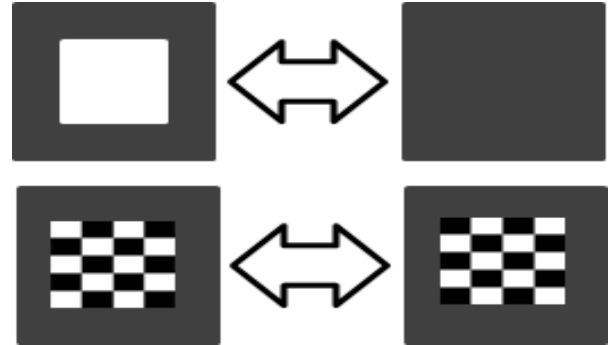


그림 3. SSVEP 시각자극패턴
Fig 3. Visual Stimulus Pattern of SSVEP

2.4 특징 추출 및 특징 선택

SSVEP나 ERP (Event-Related Potential)은 P300 기반 실험의 경우 실험을 위해 기 수집된 데이터베이스로부터 임계값을 적절하게 설정하면, 운동심상이나 감각운동에 관련된 데이터에 의한 다른 BCI 응용보다 비교적 쉬운 특징 추출 및 분류가 가능하다 [9][10]. 현재 많은 연구자들이 보다 정확하고 신뢰성 높은 특징을 추출하기 위해서 활발한 연구가 수행 중에 있다. 주로 사용하는 특징들은 주파수 대역의 파워, AR(Auto Regressive)파라미터, 시공간적인 복잡도 인덱스, 시간-주파수 패턴 조합한 인덱스 등이 있다 [11-14]. 이와 같은 특징 추출과정 이후에는 수백 종류 이상의 특징들 가운데에서 여러 개의 채널 중 뇌 활동 패턴을 가장 잘 분리 해낼 수 있는, 즉, 분류 성공률을 가장 높일 수 있는, 특징 벡터만을 선별하는 과정이 필요하다. 특징 선택이라 불리는 이 과정은 다른 패턴인식 분야에서도 널리 연구되고 있는 주제로서 BCI에서는 Sequential floating forward/backward selection (SFFS or SFBS)등과 같은 일반적인 특징 선택 방법들이 널리 활용되고 있다.

3. SSVEP를 이용한 목적성 객체 대응 EEG 측정 시스템

3.1 SSVEP EEG 측정을 위한 시각자극 생성기법

본 논문에서 제안하는 실험 paradigm은 기존의 SSVEP 실험이 격자패턴영상의 주파수 패턴 등과 같이 한정된 자극에 따른 뇌파 분석만을 수행하기 때문에 본 연구에서 진행하고자 하는 목적성 사물에 대한 객체 인식 수행에 있어 어려움이 많다. 이를 극복하고자 일상생활에서 사용하는 이미지를 SSVEP 자극신호로 사용하는 뇌파실험을 제안했다. 일반 사물에 대한 색상 패턴은 ①(R:244, G:146, U:145)와 ②(R: 181, G: 213, U:146)을 이용해 단일 자극패턴으로 설계 했다. 단일 자극 패턴은 패턴이 단순히 제작이 용이하며 객체에 맞춰 크기를 가변할 수 있어 선택했다. 또한, ①, ②

패턴의 색상은 보색관계를 고려하여 설정하였으며, ①, ② 백색 패턴과 특정 자극 주파수에 따라 교대로 제시되면서 시각적 자극을 생성한다. 자극 주파수는 본 연구실에서 보유하고 있는 실험장비 (Neuroscan-Synamp2)에서 지원하 는 4.29Hz, 5Hz, 6Hz, 7.5Hz를 사용했다. 본 실험에서 활용된 시각자극 패턴에 대한 세부 묘사는 다음의 그림 4에서 나타나 있다.

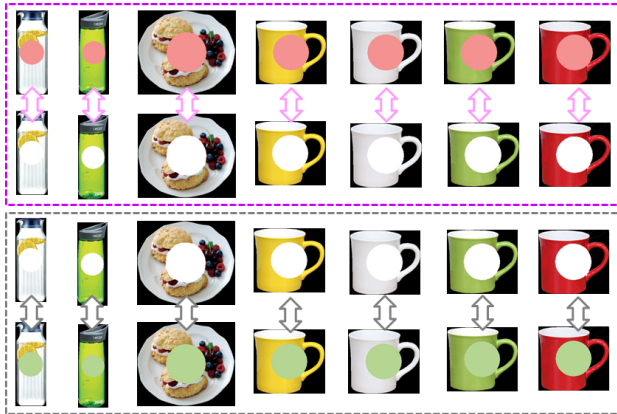


그림 4. 사물 기반 SSVEP 시각자극 생성 및 적용

Fig 4. Ordinary Object-based SSVEP Visual Stimuli Generation and their Applications

본 논문에서 제안하는 실험 paradigm은 기존의 SSVEP 실험이 격자패턴영상의 주파수 패턴 등과 같이 한정된 자극에 따른 뇌파 분석만을 수행하기 때문에 본 연구에서 진행하고자 하는 목적성 사물에 대한 객체 인식 수행에 있어 어려움이 많다. 이를 극복하고자 일상생활에서 사용하는 이미지를 SSVEP 자극신호로 사용하는 뇌파실험을 제안했다. 일반 사물에 대한 패턴은 시각자극의 뇌파 유발 시 발생 가능한 잡파요소를 최대한 억제하기 위하여 색상 대비 패턴으로 설계하였다. 패턴의 색상은 ①(R: 181, G: 213, U:146, E: 59, S:106, L:169)과 ②(R:244, G:146, U:145, E: 0, S: 196, L: 183) 구분, 정의하여 적용하였으며, 정방원의 단일 자극패턴의 형태로 설계했다. 이와 같은 단일자극패턴은 패턴이 단순히 제작이 용이하며 객체에 맞춰 크기를 가변할 수 있어 선택했다. 또한, ①, ②패턴의 색상은 보색관계를 고려하여 설정하였으며, ①, ② 백색 패턴과 특정 자극 주파수에 따라 교대로 제시되면서 시각적 자극을 생성한다. 이는 자극 주파수와 패턴색상이 상호 보완적인 역할을 하기 위함이다. 자극 주파수는 본 연구실에서 보유하고 있는 실험장비 (Neuroscan-Synamp2)에서 지원하 는 4.29Hz, 5Hz, 6Hz, 7.5Hz를 사용했다. 본 실험에서 활용된 시각자극 패턴에 대한 세부 묘사는 다음의 그림 4에서 나타나 있다.

3.2 SSVEP EEG 측정 실험 Paradigm

본 논문에서는 전 절에서 다룬 시각자극 입력을 기반으로 사용자의 객체에 대한 집중도 및 관련 의도 파악을 수행하기 위한 실험 paradigm을 제안한다. 실험 수행 시 적용된 환경적 요건은 아래와 같다.

- 피험자 1. VM (25세, 남), 피험자 2. NH (26세, 여)
- 실험 횟수 : 1인당 각 2 session 측정
- 실험 장비 : NeuroScan Corp. Synamp2, 64CH EEG 계

측 시스템

주요측정 전극위치 : Oz, O1, O2, PO3, PO4, PO5, PO6
 → 실험결과 Oz 제시
 Epoch Time: 1000~2022 ms, 512 point

상기 실험 조건을 기반으로 연속된 EEG 측정 수행을 위해 그림 5와 같은 측정 time line을 설정하였다. 회색 박스 영역은 측정 실험 중 측정 값 안정화 및 피험자의 심리적 상태에 따른 외란 발생 억제를 위한 휴식 구간이며, 주황색 박스 영역이 시각적 자극에 부여되는 구간이다. 측정-휴식 구간 trial이라 명하고, 1 trial을 100회 반복하는 것을 1 session으로 정의하였다.

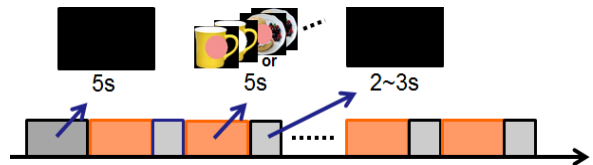


그림 5. SSVEP 시각자극 적용 실험 Time-Line
 Fig 5. SSVEP Visual Stimuli-based Experiment Time-Line

그림 6의 (a)와 같이 피험자는 방음 처리된 독립적인 공간에서 EEG 캡을 쓰고 패턴 자극을 주시하게 했다. 실험실 밖에서는 자극에 실시간으로 실험자의 뇌파를 측정하고, 모니터링 시스템을 통해 실시간으로 상태를 확인했다.

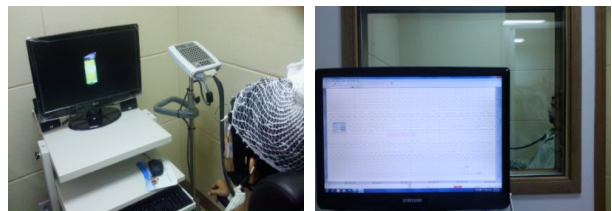


그림 6. SSVEP 기반 EEG 측정 실험
 Fig. 6 SSVEP-based EEG Measurement Experiment

SSVEP 측정 실험결과는 각각의 주파수에 대해 평균과 표준편차를 구한 후 그래프로 도시하였다. 첫 번째 session에서 측정된 값들의 평균을 실선이고, 두 번째 session 측정된 값들의 평균은 점선으로 표시한다. 각 session의 표준 편차는 막대형으로 평균과 함께 한 그래프 내에 표시했다.

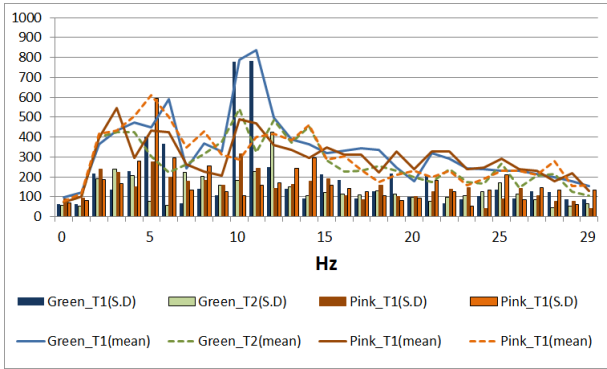
Labeling index는 패턴색상 {①, ②}, 측정시도횟수 순으로, 패턴색상은 패턴 ①을 Green으로 표시하고, 패턴 ②를 Pink로 표기한다. 측정시도횟수는 처음 측정한 값 (T1)과 1 trial 종료 후 다시 측정한 값 (T2)을 의미한다.

3.3 SSVEP 측정 결과 분석

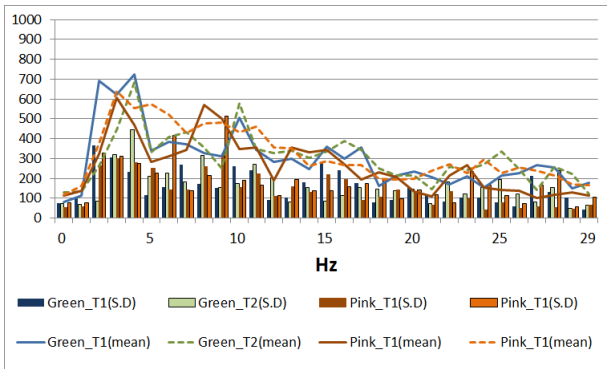
본 논문에서는 측정 결과 분석 시 자극패턴 간의 뇌파 차이를 확인하기 위해 Oz 영역의 뇌파를 비교했다. Oz 영역 안구 움직임 등의 잡파에 상대적으로 영향이 적다.

피험자 1은 ①패턴과 2개의 주파수에서 좋은 뇌파 특성을 나타냈다. 1Hz의 SSVEP 자극패턴의 경우 그림 7 (a)에서와 같이 3~4.29Hz대역의 대응 뇌파에서는 활성화되는 특성을 보였지만, 다른 자극패턴 대응 뇌파대역에도 크게 활성화되는 모습을 보여 측정값에 의미가 없다. 4.29Hz

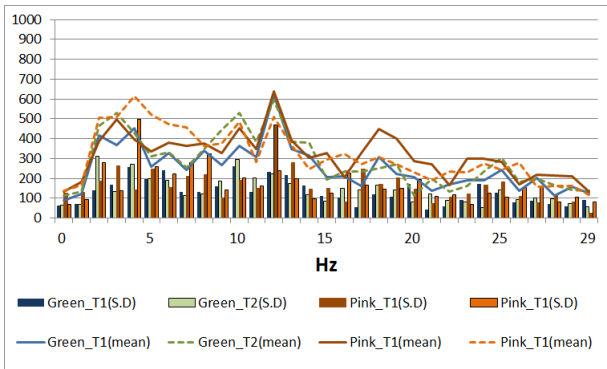
SSVEP 자극패턴은 그림 7의 (b)에서와 같이 10Hz대의 대응 뇌파가 크게 활성화됨을 알 수 있다. 7Hz의 SSVEP 자극패턴은 그림 7의 (c)에서와 같이 13Hz대의 대응 뇌파가 상대적으로 크게 활성화됨을 알 수 있다. 특히, ①패턴에서 측정 시, 첫 번째 session과 두 번째 session의 측정 결과 사이의 차이가 상대적으로 작았으며, 높은 평균값과 낮은 표준편차를 보여주었다. 이는 피험자 1의 경우 ①패턴이 더 좋은 SSVEP를 생성했다고 말할 수 있다.



(a) 자극주파수 = 1Hz



(b) 자극주파수 = 4.29Hz



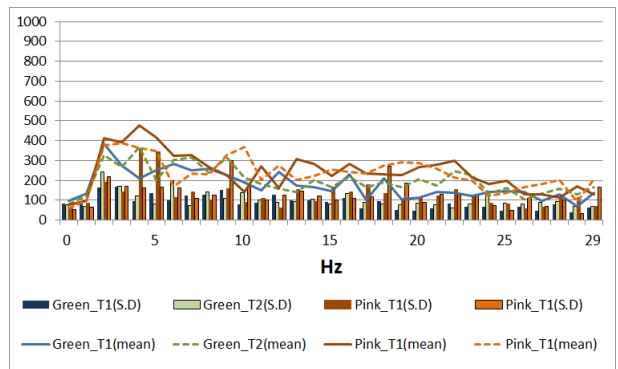
(c) 자극주파수 = 7Hz

그림 7. SSVEP 기반 EEG 측정실험-피험자 1
Fig. 7 SSVEP-based EEG Measurement Experiment-Subject 1

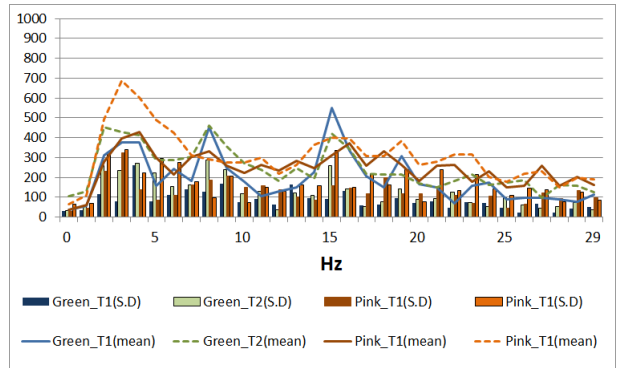
반면, 그림 8의 피험자 2는 7Hz의 자극패턴에 대응하는 뇌파가 크게 활성화 되었다. 피험자 2는 7Hz에서 피험자 1의 경우보다 12Hz대의 뇌파가 높게 활성화 되었다. ②패턴의 경우는 18Hz부분의 뇌파도 함께 높게 나타났다. 4.29Hz의 자극패턴에서는 ①패턴에 대해서 8Hz와 15Hz대의 뇌파

가 높게 활성화되었다. 표준편차는 두 자극주파수 모두 ①패턴이 낮은 표준편차를 보였으며, 첫 번째 session과 두 번째 session에 측정값의 차이도 작았다. 5Hz 이하의 피험자 1과 같이 대부분 높은 평균과 표준편차를 나타낸다.

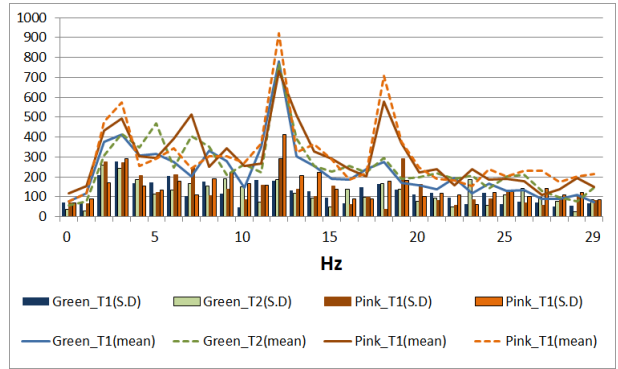
실험은 시각적 패턴자극의 자극주파수와 색상에 따라 뇌파가 판별적으로 활성화됨을 보였다. 그림 (7)과 (8)의 7Hz의 자극주파수는 12Hz의 경우에 비해 뇌파 평균값이 실험자에 상관없이 높았으며, 첫 번째 session과 두 번째 session 측정값 간에 차이와 표준편차도 작게 측정되었다. 실제 활용단계에서는 ①패턴과 5Hz이상의 주파수를 사용하는 것이 좋다고 판단된다. 5Hz이하에서는 자극주파수나 실험자에 상관없이 높게 활성화되었고 표준편차도 높아 의미가 없다. ①패턴은 하모닉 주파수가 발생은 없지만 ②패턴보다 피험자에 덜 의존적이면서 뇌파를 안정적으로 생성하였다.



(a) 자극주파수 = 1Hz



(b) 자극주파수 = 4.29Hz



(c) 자극주파수 = 7Hz

그림 8. SSVEP 기반 EEG 측정실험-피험자 2
Fig. 8 SSVEP-based EEG Measurement Experiment-Subject 2

이와 같은 일련의 실험결과와는 본 논문에서 제안하는 SSVEP 자극패턴에 대응하는 뇌파분류가 객체에 대응하는 집중도를 판별하는데 활용될 수 있음을 의미한다.

4. 결론 및 향후 고찰

본 논문은 일상사물을 자극이미지로 사용하는 시각자극 패턴을 피험자에 도시 후 뇌파를 측정함으로써, SSVEP 기반의 보다 범용성이 높은 BCI 응용 시스템 개발을 위한 핵심 기초 연구를 수행하였다. 일상 사물 영상은 객체 대상이 갖는 본연의 용도와 더불어 뿐만 아니라 동사가 갖는 의미, 즉 행동유발특성도 포함하고 있다. 이를 인식하기 위하여 색상과 주파수 패턴으로 구성되는 시각자극패턴을 설계하고, 고유의 측정패러다임을 통해 피험자로부터 SSVEP EEG를 측정 분석하였다. 궁극적으로는 측정된 패턴에서의 객체 및 의도 별 특징에 대한 검출을 수행하고 그 결과를 선형 판별식에 적용함으로써 자극패턴에 대응하는 객체와 해당 객체에 대한 사용자의 의도를 분류하는 연구를 수행해야하나, 향후 연구에서 이와 같은 내용을 다룰 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] L. Xia, C.-C. Chen, and J. K. Aggarwal, "Human Detection Using Depth Information by Kinect", *International Workshop on Human Activity Understanding from 3D Data in conjunction with CVPR (HAU3D)*, Colorado Springs, CO, June 2011.
- [2] 한국콘텐츠진흥원, "BCI(Brain Computer Interface) 기술 동향," *문화기술(CT) 심층리포트*, no. 12, pp. 3-6, 2011. 03.
- [3] 전황수, "뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI) 기술 및 개발 동향," *전자통신동향분석*, vol. 26, no. 5, pp. 123-133, 2011. 10.
- [4] M. Thulasidas, C. Guan, "Optimization of BCI speller based on P300 potential," *Proc. 27th Annual Conference, IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pp. 5396-5399, 2005.
- [5] E. Donchin, K. M. Spencer, and R. Wijesinghe, "The mental prosthesis: Assessing the speed of a P300-based brain-computer interface," *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 174-179, June 2000.
- [6] 손량희, 손중상, 황한정, 임창환, 김영호, "안정상태 시각유발전위 기반의 기능적 전기자극 재활훈련 시스템," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 31, pp. 359-364, Oct. 2010.
- [7] Paul S. Hammom and Virginia R. de Sa, "Preprocessing and Meta-Classification for Brain-Computer Interface," *IEEE transaction on biomedical engineering*, vol. 54, no. 3, march 2007.
- [8] P. Comon, Independent component analysis, A new concept, *Signal Processing*, vol. 36, no. 3, pp. 11-20, 1994.
- [9] G. Pfurtscheller and C. Neuper, "Motor imagery and direct brain-computer communication," *Proc. IEEE*, vol. 89, pp. 1123-1134, July 2001.
- [10] W. Penny, S. Roberts and M. Stokes, "Imagined hand movements identified from the EEG mu-rhythm," *Dept. Elect. Eng. Imperial College, London, U.K., Tech. Rep.* 1998.
- [11] C. Anderson, E. Stolz, and S. Shamsunder, "Discriminating mental tasks using EEG represented by AR models," *Proc. IEEE Engineering in Medicine and Biology Annu. Conf.* Sept. 1995.
- [12] A. Shlogl, G. Pfurtscheller, and B. Schack, "Single-trial EEG analysis using an adaptive autoregressive model," *Proc. 4th Int. Symp. Central Nervous Monitoring*, Sept. 1996.
- [13] S. Roberts, W. Penny and I. Rezek, "Temporal and spatial complexity measures for EEG-based brain-computer interfacing," *Med. Biol. Eng. comput.*, vol. 37, no. 1, pp. 93-99, 1998.
- [14] N. Yamawaki, C. Wilke, Z. Lu, and B. He, "An enhanced time-frequency approach for motor imagery classification" *IEEE Trans. Neural Syst, Rehabil, Eng.* vol. 14, pp. 250-254, 2006.
- [15] 이상경, 고광은, 심귀보, "정상상태시각유발전위를 이용한 미러 뉴런 시스템," *Proc. KIIS Fall Conference 2011*, vol. 21, no. 2, pp. 19-20, 2011.

저 자 소 개



이상경(SangKyung Lee)

2010년 : 세명대학교 전자공학과 공학사
 2010년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원
 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : Robot for the disabled, Brain-Computer Interface, Intention Recognition, Intelligent System 등



김준엽(Jun-Yeup Kim)

2012년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사
 2012년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원
 전자전기공학부
 석사과정

관심분야 : Brain-Computer Interface System, Particle Swarm Optimization, Neuro- Robotics 등



박승민(Seung-Min Park)

2010년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사
2010년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원
전자전기공학부
석박사통합과정

관심분야 : Brain-Computer Interface, Intention Recognition
Soft Computing 등



심귀보(Kwee-Bo Sim)

1990년 : The University of Tokyo
전자공학과 공학박사

[제21권 제6호 (2011년 12월호) 참조]

1991년 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수
2006년 ~ 2007년 : 한국지능시스템학회 회장

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

Homepage URL : <http://alife.cau.ac.kr>



고광은(Kwang-Eun Ko)

2007년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사
2007년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원
전자전기공학부
석박사통합과정

관심분야 : Multi-Agent Robotic Systems (MARS),
Machine Learning, Context Awareness,
Emotion Recognition Systems 등