

동작 상상-P300 기반 BCI 환경에서의 로봇 제어 실용화 기술

Practical Use Technology for Robot Control in BCI Environment based on Motor Imagery-P300

김 용 훈, 고 광 은, 박 승 민, 심 귀 보*
(Yong-Honn Kim¹, Kwang-Eun Ko¹, Seung-Min Park¹, and Kwee-Bo Sim¹)
¹Chung-Ang University

Abstract: BCI (Brain Computer Interface) is technology to control external devices by measuring the brain activity, such as electroencephalogram (EEG), so that handicapped people communicate with environment physically using the technology. Among them, EEG is widely used in various fields, especially robot agent control by using several signal response characteristics, such as P300, SSVEP (Steady-State Visually Evoked Potential) and motor imagery. However, in order to control the robot agent without any constraint and precisely, it should take advantage of not only a signal response characteristic, but also combination. In this paper, we try to use the fusion of motor imagery and P300 from EEG for practical use of robot control in BCI environment. The results of experiments are confirmed that the recognition rate decreases compared with the case of using one kind of features, whereas it is able to classify each both characteristics and the practical use technology based on mobile robot and wireless BCI measurement system is implemented.

Keywords: motor imagery BCI, P300, ERS, robot control

I. 서론

인간의 모든 신체의 동작과 기능을 제어하고, 그에 해당하는 사고를 담당하는 뇌에 관한 연구가 활발해지고 있는 가운데, 지금까지 밝혀진 뇌의 기능들을 활용한 외부 전자 기기를 제어하는 기술인 BCI (Brain-Computer Interface)가 주목받고 있다. 이러한 BCI는 특정 사건 또는 환경에 의해 뇌의 각 영역이 활성화될 때, 이를 뇌파, 뇌 영상화(Brain Imaging) 등의 다양한 센서 시스템을 통해 측정함으로써 외부 제어 시스템에 적용 가능한 신호 패턴으로 변환, 분석하는 기술을 통칭한다. 그중에서도 동작 상상에 관련된 뇌 활동을 측정하여 이러한 외부 장치 제어를 위한 BCI가 주목을 받고 있는데, 일반적으로 그림 1의 구조를 가진다.

이러한 동작 상상을 기반으로 하는 BCI는 전신마비나 대마비 등 때문에 의식은 있지만, 대부분의 신체 활동이 불가능한 경우, BCI 시스템을 통하여 외부와의 의사소통을 가능하게 할 수 있다. 신체의 각 기능은 사용할 수 없지만 뇌는 정상적으로 활동하고, 질환이 없는 사람과 똑같은 사고나 생각을 할 수 있다는 선행 연구가 이미 여러 차례 학계에 보고된 바 있다[1-3]. 또한, 미국의 듀크 대학 연구진은 훈련받은 원숭이들이 컴퓨터의 화면 속 가상 물체를 뇌파를 이용하여 느끼고 움직일 수 있는 연구가 성공하면서 사지 마비 환자들의 로봇장치의 도움으로 손에 쥌 물체의

감촉이나 딛고 있는 땅의 미묘한 느낌까지 경험할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 이러한 선행연구들 대부분은 뇌의 전기적인 활동을 비침습적으로 측정된 EEG (Electroencephalogram)를 기반으로 수행한 것이다. EEG 기반 BCI 연구에서도 여러 가지 뇌파 특성을 통한 분석이 가능한데 본 논문에서 구현하고자 하는 동시 신호를 이용한 BCI 시스템 기반 로봇 제어를 위해서는 동시에 여러 가지 일을 병렬처리할 수 있는 방법이 필요하다.

기존의 BCI 로봇제어는 동작 상상이나 P300, SSVEP 중 하나의 EEG 특징을 이용하고 있지만, 본 논문에서는 동작 상상과 목표 객체의 인지 과정에서 발생하는 EEG의 해석을 위한 특징을 융합하여, 실제 로봇에 적용하고자 한다. 이를 위해 우선 시각자극에 대응하는 동작 상상 시 발생하는 ERS (Event-Related Synchronization)와 시각 자극을 제시

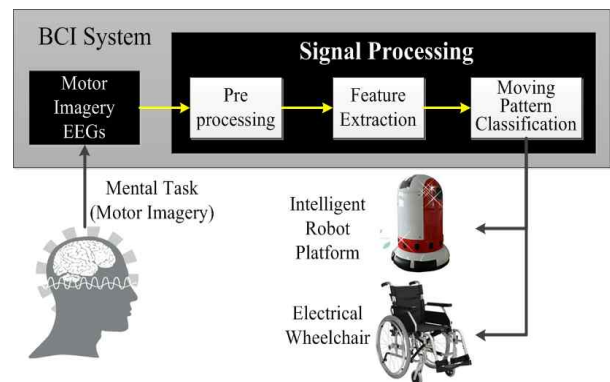


그림 1. 외부 장치 제어를 위한 동작 상상 기반 BCI.
Fig. 1. Motor imagery-based BCI for external device control.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2013. 1. 9., 수정: 2013. 2. 14., 채택확정: 2013. 2. 15.
김용훈, 고광은, 박승민, 심귀보: 중앙대학교 전자전기공학부
(moonloves2@cau.ac.kr/kkeun@cau.ac.kr/sminpark@cau.ac.kr/kbsim@cau.ac.kr)
※ 본 논문은 한국연구재단 중견연구지원사업(No. 2012-0008726)에서 지원하여 연구하였으며 연구비 지원에 감사드립니다.

하지 않은 상태의 동작 상상 시 발생하는 EEG 특징을 비교해 보았다. 두 번째로 동작 상상 도중 P300을 유발하는 객체 자극을 제시하였을 때, 동작 상상과 객체 인식을 목표로 하는 EEG 패턴의 분류 결과를 확인하여, 차후 로봇의 주행 과정에 적용하였을 때를 대비하고자 하였다. 다른 목적의 EEG 응답특성을 융합하여 인식함으로써 주어질 임의의 상황에 따라 능동적으로 적응하는 모델이 가능하며 이를 통해 더욱 인간 행동 영역에 유사한 방향으로 로봇을 제어할 수 있게 할 수 있다.

II 장에서는 본 논문의 제안 내용과 관련된 선행 연구에 대하여 정리하고, 동작 상상과 P300 기반 객체 인식 과정을 측정 실험하는 과정, 내용 및 결과에 대하여 III 장에서 논한다. IV 장에서는 이와 같은 BCI 실험 결과를 바탕으로 모바일 로봇 제어에 적용하고 마지막 V 장에서 본 논문의 최종 결론 및 앞으로 과제에 대하여 논한다.

II. 관련 연구

1. ERD (Event-Related Desynchronization)/ERS (Event-Related Synchronization)

인간은 직접적인 행동을 하지 않아도, 생각만으로 직접적인 운동을 하였을 경우와 같은 EEG가 발생하게 된다. 하지만 해당 EEG는 개개 마다 다른 부분의 뇌 영역을 사용하며, 시간과 상황에 따라 바뀌기 때문에 검출이 힘들고, 피험자의 훈련과 선천적 능력에도 영향을 받기 때문에 특정 EEG를 검출하기 위해서는 피험자에게 시각적 자극을 제시하여 EEG를 분석하게 된다. 시각적 자극으로 왼손이나 오른손 움직임을 상상하는 동안 피험자의 μ 리듬 영역에서는 활동이 쇠약해지거나 차단되는 현상이나, 억제되는 현상이 나타나며 이러한 현상을 ERD라고 한다, 주로 μ 리듬과 리듬 영역 중 국소적으로 β 에서 발생하게 된다. ERS는 ERD와 상반된 특징을 가지고 있으며 EEG의 진폭이 증가하게 되는 현상을 말한다. 본 논문에서는 진폭이 증가하는 현상인 ERS만을 검출하기 위해 아래의 과정을 사용하였다 [4,5]. ERS 검출 방법은 시간의 흐름에 따라 각 해당 시간의 EEG에 대한 파워 스펙트럼을 보여주어 시간별 어느 주파수에서 어떤 변화가 발생하였는지 알 수 있게 해 준다.

1. EEG 데이터를 수집한다. (샘플링 : 128Hz)
2. μ 리듬 영역의 주파수 성분의 데이터를 대역통과 IIR 필터를 적용하여 5 ~ 35Hz 영역만 추출한다.
3. 식 1과 2는 필터를 거친 신호의 파워값을 구하기 위해 리듬의 진폭을 구하고 각 샘플의 진폭을 제공한다.
4. 모든 trial의 평균을 구한다.
5. 식 4의 식을 이용하여 ERS의 값을 계산한다.

$$y_{ij} = (S_{ij} - \bar{S}_j)^2 \quad (1)$$

$$P_j = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N y_{ij} \quad (2)$$

$$R_{f_k} = \frac{1}{m+1} \sum_{r_0}^{r_0+m} P_{i,f_k} \quad (3)$$

$$ERS = \frac{P_{j,f_k} - R_{f_k}}{R_{f_k}} \times 100 \quad (4)$$

위 식에서 P 는 파워, j 는 시간, f_k 는 주파수, R_{f_k} 는 f_k 주파수에서의 r_0 에서 r_0+m 시간의 평균 파워 이다.

2. STFT (Short-Time Fourier Transform)

EEG를 주파수 영역에서 해석하는 방법으로 푸리에 변환을 이용한 방법이 주로 이용되고 있다. 그러나 푸리에 변환은 주파수 성분만을 표시하기 때문에 움직임 상상 EEG의 시간 영역에 대한 특징을 분석하기에는 어려움이 있다. 따라서 주파수 영역의 해석과 시간 영역의 해석을 표현할 수 있는 방법으로는 STFT, 위그너-빌 분포, 웨이블릿등을 사용하고 있다. 본 논문에서는 가장 기본적으로 사용되는 STFT를 이용하여 움직임 상상 시 증가하는 진폭과 주파수-시간을 검출하였다. STFT는 시간-주파수 해석을 위한 가장 간단한 방법으로 짧게 쪼개진 시간영역에서 원하는 부분에 대한 푸리에 변환을 수행하고 기간 축을 기준 삼아 주파수 분포를 도시해 나가는 방법이다. STFT는 이동하는 창 크기에 따라 시간과 주파수의 해상도 차이가 발생하는데 창 크기가 크면 주파수의 해상도는 좋아지나 시간해상도는 떨어지고, 창 크기가 작으면 반대가 된다. 다음의 식 (5)는 본 논문에서 사용한 STFT를 기반으로 주파수-시간 변환 함수이다[6].

$$X(\omega, \tau) = \int x(t)w(t-\tau)e^{-j\omega t} dt \quad (5)$$

$x(t)$ 는 입력 신호, $w(t)$ 는 윈도우 함수이며, $X(\omega, \tau)$ 는 주파수-시간을 가지는 출력을 나타낸다. 이때, 해밍 윈도우를 사용하였고 주파수 대역은 5 ~ 35Hz이다.

3. P300

P300은 뇌가 시각적 자극을 통해 입력된 객체에 대하여 해당 객체를 인식하기까지 걸리는 시간 영역에서의 특징으로 자극 입력 이후 약 300ms에서 강한 양극 방향 전압 [μV]이 발생하는 것을 말한다. 일반적인 P300 유발실험에서는 숫자나 글자 형태의 객체가 체크보드의 행렬에 나열되어 있고, 일정하거나 랜덤 한 패턴의 광원 자극을 반복적으로 제시하여 P300을 유발하는 방식을 취한다. 이러한 P300 유발 실험은 피험자가 실험 전에 사전훈련이 필요 없다는 장점이 있지만, 피험자의 의지에 따른 유발자극 대응 반응의 제어가 불가능하다는 한계가 있다[7,8]. 시각 자극에 의한 P300은 시각적 기능을 담당하는 후두엽(Occipital lode)의 좌측(O1), 우측(O2) 전극에서 주로 측정한다.

4. 동작 상상

시각 자극을 제시하거나 제시하지 않은 상태에서 피험자의 특정 신체 동작에 대한 상상을 기반으로 실제 동작과 같은 뇌 영역에서 같은 패턴의 뇌파를 분류하는 연구는 여러 연구에서 이미 입증되었다[9]. 하지만 피험자에 따라 동작 상상을 수행하지 못하거나 일정 자극에 대한 사전 훈련이 선행되어야 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있다는 한계가 존재하지만, 실험에서 목표로 하는 정확한 동작 상상을 수행하면 의식적인 뇌파 패턴을 발현할 수 있게 하므로 로봇 등의 외부 기기 제어에 활용할 수 있다[10].

III. 동작 상상과 P300 융합에 따른 EEG 패턴 분석

1. 동작 상상과 P300 기반 객체 인식 관련 EEG 유발 실험

일반적인 동작 상상 유발 실험에서 피험자는 일정 시간 동안 시각적 자극이 제시되었을 경우와 시각 자극이 없는 경우 모두 같은 동작 상상을 수행해야 한다. 이를 위해 피험자는 시각 자극에 의한 동작 상상과 시각 자극이 없는 동작 상상 훈련을 Emotiv사의 box control software를 사용하여 30일 동안 두 시간씩 훈련하였다. box control software는 3D상자를 EEG를 분석하여 8방향 이상으로 제어가 가능한 software다. 이 결과를 로봇에 적용하기 위하여 목표 객체와 융합된 동작 상상 관련 시각 자극을 주었을 경우와 동작 상상 관련 시각자극을 제거한 후 목표 객체와 융합된 동작 상상을 하였을 경우의 EEG를 측정하는 실험을 수행하였다.

실험은 크게 3가지 (A, B, C)로 나누어 진행하였다. 실험에 사용된 시각자극은 a와 b가 있으며 시각자극 a는 P300을 유발하기 위한 실험에 사용하였고, 시각자극 b는 시각 자극을 통한 동작상상 실험인 실험 A와 B에 사용되었다. 첫 번째 실험 A는 동작 상상과 P300 기반 객체 인식에 대한 개별적 측정 및 분석을 목표로 하였으며, 각각의 실험 결과, 즉 동작 상상 성공률과 객체 인식률을 비교한다. 두 번째 실험 B는 시각적 자극을 제시하여 동작 상상을 수행하는 동안 P300을 통한 객체 인식 유발 자극을 제시한 경우의 EEG 패턴을 측정하여 동작 상상 성공률과 객체 인식률을 분석한다. 마지막 실험 C는 시각적인 자극을 제시하지 않고 동작 상상을 수행하는 도중 P300을 통한 객체 인식 유발 자극을 제시한 경우의 EEG 패턴을 측정하여 동작 상상 성공률과 객체 인식률을 분석한다. 모든 실험은 8초에서 8.25초 동안 이루어지며, 그림 2와 같다.

피험자는 동작 상상 수행 과정에서 시각적 자극 제시 경우와 시각적 자극이 없는 경우의 실험을 각각 30번씩 시도 (trial)하였으며, 실제 로봇에 적용하기 위한 시각적 자극을 제시하지 않은 경우의 동작 상상과 P300의 객체 인식 관련 반응을 유발하기 위한 시각자극을 제시한 실험은 60번씩 시도하였다. 본 실험에서 EEG 자료를 수집하기 위한 장비로는 Emotiv사의 EPOC장비를 사용하였다. 해당 장비는 14채널 전극을 가지고 있고, 사람의 감정 및 뇌파를 이용한 게임 등에 사용되고 있다.

동작 상상 실험은 비프(beep) 로 제시되는 Queue를 통해

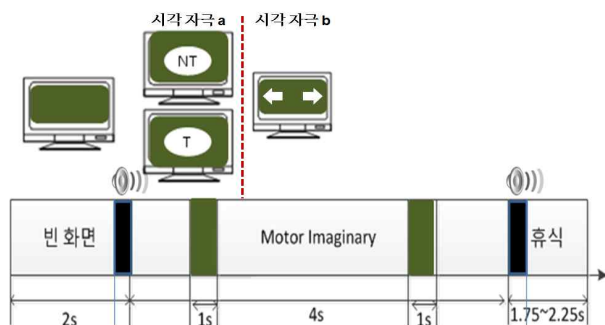


그림 2. 동작상상, P300 기반 객체인식 관련 BCI 실험 방법.
Fig. 2. Experiment method for motor imagery, P300-based object recognition-related BCI.

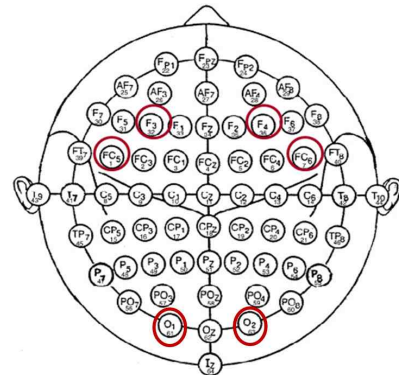


그림 3. 국제적으로 명명된 MCN 시스템.
Fig. 3. International MCN electrode system.

피험자는 동작 상상을 수행한다. 이때 특정 숫자 집단이 1초 동안 피험자가 주시하는 화면에 표시되며 해당 숫자 중 피험자에게 미리 고지된 목표 숫자를 객체로 인식하는 과정에서 P300을 측정하는 방식을 취한다.

NT(=Non-Target), T(=Target)으로, NT와 T는 시각 자극에 의한 동작 상상을 하는 4초 동안에 한번 발생하며, 30번의 실험에서는 15번 60번의 실험에서는 30번 T를 제시하였다. 목표 객체가 제시되는 시간은 랜덤하게 설정하였으며, 목표 객체에 해당하는 숫자는 0 ~ 9까지의 흰색의 숫자가 1초 동안 화면에 유지된다. 피험자는 BCI 관련 실험에 대해 경험이 있는 자를 선별하였다.

NT와 T의 바탕 색상은 녹색 바탕에 흰 글씨로 가장 눈이 덜 피로한 색으로 알려졌으며, T와 NT는 한 trail 중 미리 정해진 시간에 T와 NT 중 하나의 자극을 제시하도록 설정하였다. EEG 분석은 Matlab을 기반으로 BCI2000 Toolbox를 사용하였고, 참고 데이터베이스로 BCI competition IV를 사용하였다[9]. 전극으로는 F3, F4, Fc5, Fc6, O1, O2를 사용하였으며, 전극 위치는 그림 3의 MCN (Modified Combinatorial Nomenclature) 시스템을 따른다[11].

일반적인 동작 상상의 실험을 하는 경우 C3, C4의 전극을 사용하게 되지만, 본 논문에서 사용하는 Emotiv EPOC 장비는 C3, C4 주변부 영역의 전극들(FC5, FC6, F4, F3)을 사용하여 동작 상상 시 발현되는 부위를 검출하게 된다.

2. 동작 상상-P300 객체 인식 EEG 분석

위 실험들에 따른 EEG 패턴의 분석 결과, 동작 상상을 수행하는 4초 구간 중 시작 신호, Queue 제시 후 1.5 ~ 2.5초 사이 구간에서 동작 상상 관련 EEG 패턴이 가장 강하게 활성화되며, 주로 10Hz 주파수 영역에서 발현되는 것을 확인할 수 있었다. 또 한 그림 4의 경우 FC5, FC6 전극과 비교하면 F4, F3의 전극이 상대적으로 약하게 활성화가 되었으며 움직임 상상, 즉 동작 상상을 하는 동안 P300을 유발하기 위한 자극을 제시하여도 해당 EEG의 특징이 제대로 발현된다는 것을 그림 4와 5, 표 1의 결과를 통해서 확인할 수 있다. 그림 5는 시각적 자극은 제시하지 않고 동작 상상을 수행하는 과정에서 객체인식 관련 시각자극을 제시하였을 경우의 P300 측정에 대한 분석 결과를 나타내고 있다. O1과 O2전극에서 시각 자극이 제시된 100ms부터 목표 객체와 객체가 아닌 부분이 확실하게 분류가 되는 것을 확

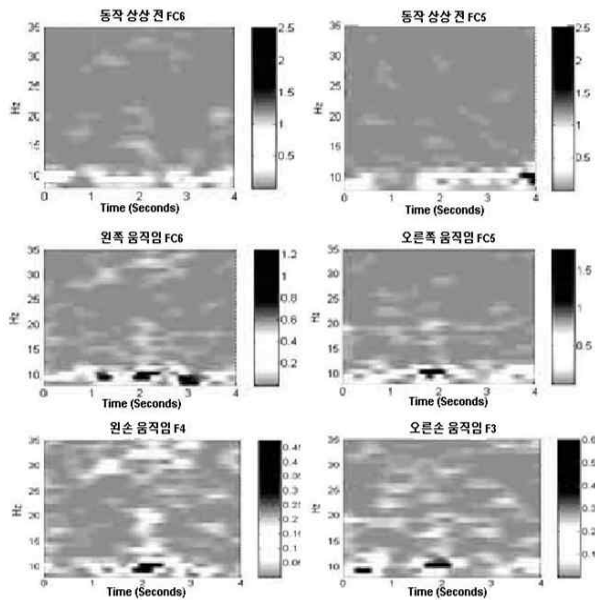


그림 4. 실험 C의 동작 상상 실험 결과.

Fig. 4. Experiment C result of motor imaginary.

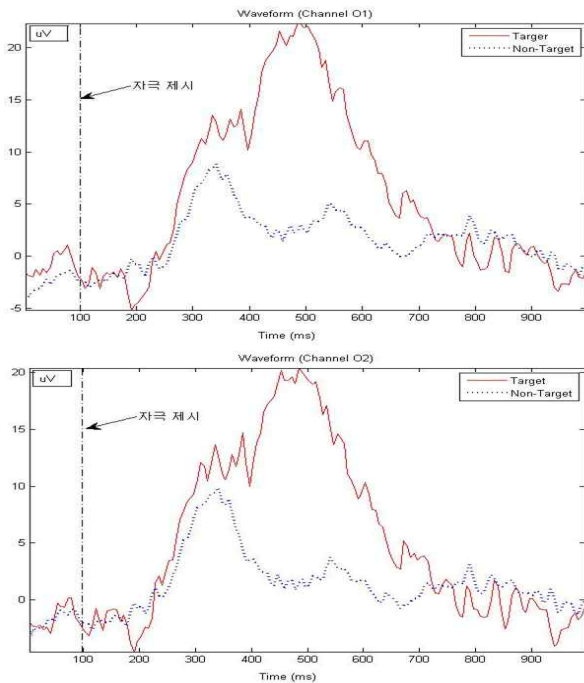


그림 5. 실험 C의 동작 상상 중 P300 측정 결과.

Fig. 5. P300 measurement during experimental C motor imaginary.

인할 수 있었으며, 동작 상상을 하는 동안 객체인식에 대한 P300 EEG를 유발하기 위한 시각 자극 a를 제시하였을 때 Target과 Non-Target을 피실험자가 제대로 인지하였고, 그 결과를 확인 할 수 있었다. 즉 동작 상상을 하는 도중 피실험자가 원하는 객체와 그렇지 않은 객체가 있다면 이를 분류하고 찾아내기 위한 실험으로, 시도 횟수에 따른 평균 인식률을 계산한 결과 63.3%의 인식률을 보였다.

표 1은 피험자에게 ERS 실험과 동작 상상 실험을 개별적

표 1. EEG 패턴 분석 결과.

Table 1. Results of EEG pattern analysis.

목표치 실험	동작상상 기반 EEG 패턴 분류 성공률	P300 기반 목표 객체 인식률
실험 A	72 %	83 %
실험 B	52 %	30 %
실험 C	48.7 %	63.3 %

으로 하였을 경우와 동작 상상과 P300을 동시에 제시하거나 제시하였을 경우의 결과이다. ERS 실험의 경우 피험자에게 원활한 동작 상상 EEG 발현을 도와주기 위하여 자극을 제시해 주지만, 로봇제어를 실생활에 사용하기 위해서는 이러한 자극이 배제된 상태로 사용하게 된다. 또한, P300의 특징은 시각 자극에 의한 발현이므로 동작 상상을 유발하는 자극 신호와 T와 NT에 대한 자극 신호를 동시에 받았을 때 EEG를 분석하는 것에 있어서 어려움이 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 자극을 제시하여 동작 상상에 의한 ERS와 P300을 유발하는 자극 신호를 동시에 제시하여 보고, 자극 신호가 없는 상태에서 동작 상상을 하였을 경우의 인식률과 P300과의 연동 시 인식률을 비교하여 이를 증명하고, 실제 로봇에 적용할 본 논문에서 제시하는 실험 C의 부족한 점을 보완하여 적용할 예정이다.

표 1에서 분석한 바와는 실험 A는 ERS 실험과 P300 실험을 개별적으로 하였을 때 움직임 상상은 72% 패턴 인식률을 P300은 83% 인식률을 확인할 수 있었다. 실험 B는 ERS 실험 중 P300을 유발하는 자극을 제시하였을 경우 시각 자극에 의한 움직임 상상은 52%로 감소하였고, P300은 30%로 대폭 감소하였다. 실험 C는 시각 자극을 제시하지 않고 동작 상상을 하는 도중 P300을 유발하는 자극을 제시한 경우 동작 상상 패턴의 인식률은 48.7%로 가장 낮은 인식률은 보이지만 P300은 63.3%로 실험 B보다는 높은 인식률을 확인할 수 있었다. 결과적으로 시각 자극을 제시하지 않고 동작 상상을 하는 도중에 P300을 유발하기 위한 자극을 제시한 경우, 동작 상상과 목표인식에 대한 P300 EEG가 발현되는 것을 확인할 수 있었으며, 해당 실험 결과를 바탕으로 실제 로봇에 적용할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 동작 상상과 P300을 제시한 실험 B와 실험 C를 비교한 결과 실험 B보다 실험 C의 결과가 좋았고, 실험 C는 반복실험과 분석 알고리즘을 통해 발전 가능성이 있으며, 아직 까지 많은 실험이 이루어지지 않은 초기 단계이므로, 반복적인 피실험자의 실험 또는 분석 알고리즘을 적용하여 차 후 성공률을 상승시킬 수 있다.

IV. BCI 환경 기반 모바일 로봇 제어 기술

앞 절에서 시각적 자극이 없는 동작 상상과 P300 기반 객체 인식 유발 EEG 측정 실험을 수행하였고, 두 가지 목적에 대응하는 EEG 패턴의 분석 결과는 각각의 경우에서 대략 50% 정도의 인식률을 보여주었다. 이와 같은 실험 C를 직접 로봇주행 실험에 적용하기 위한 제어 기술을 개발하였다. 실험에 활용하고자 하는 로봇 플랫폼으로는 다음 그림 6의 EMBOT-320 모델을 사용하였다.

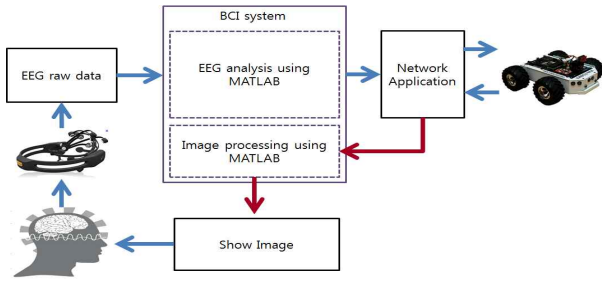


그림 6. EEG 기반 BCI 환경에서의 EMBOT-320 플랫폼 제어.
Fig. 6. EMBOT-320 platform control in EEG based BCI system.

```

DC motor control using PWM control

Switch option : SWn ON <- 0x01,0x02,0x04,0x08,0x10,0x20,0x00

Loop

1. IF SW1 ON <- 1/10 Duty ratio motor driven
   motor driven function(1);
Else
2. IF SW2 ON <- 5/10 Duty ratio motor driven
   motor driven function(5);
Else
3. IF SW3 ON <- maximum speed motor driven
   motor driven function(10);
Else
4. IF SW4 ON <- forward rotation
Else
5. IF SW5 ON <- reverse rotation
Else
6. IF SW6 ON <- stop motor

End loop

Motor driven function ( speed option 1 to 10 )

Loop

Switch ( speed option )
1. Case 1 = OCR5A, OCR5B <- 125, 625, 1250
2. IF default OCR5A, OCR5B <- 750
Else
3. Case of forward rotation TCCR5A <- 0x82
Else
4. Case of reverse rotation TCCR5A <- 0x22

End loop
    
```

그림 7. 로봇의 동작 제어를 위한 Pseudo 코드.
Fig. 7. Pseudo code for robot move control.

EMBOT-320은 806MHz PXA320 프로세서와 ATmega2560을 탑재하여 다양한 임베디드 솔루션 및 8비트 운영체제 기반이며 Web Camera를 이용한 Image processing, Wireless LAN을 이용한 Web server 이용이 가능하다. 모터는 서보 모터와 DC 모터를 사용할 수 있으며, 초음파 센서인 Front-3EA, Rear -1EA로 4Cm-6M까지 감지가 가능 IR 센서로 바닥 감지, 음향 센서, 온/습도, 조도 센서, USN을 이용한 무선 제어가 가능하며, 4WD 방식의 120mm 오프로드 타이어를 장착한 로봇이다. EMBOT-320의 모터 제어는 C언어 기반으로 제작하였으며 로봇의 동작 제어를 위한 Pseudo 코드는 다음과 같다[12].

모터 속도제어 함수는 1 ~ 10까지의 숫자로 속도를 설정한다. switch는 PWM 신호 출력 단자를 지정한다. 예를 들어 출력 단자가 OCR4B라면 오른쪽 모터의 정회전 동작이 되며, 최댓값을 1250으로 설정하였기 때문에 OCR4B가 1250이라면 항상 HIGH 상태가 되고, 125라면 PWM 듀티가

1/10인 상태가 된다. 만약 DIP-Switch가 on되어 있다면 스위치의 숫자에 맞게 n/10으로 듀티비로 모터의 정회전과 역회전 동작한다. 코드를 적용하여 EMBOT 320 플랫폼의 전방과 후방의 동작은 구현되었고, 앞서 설명한 동작 상상-P300 융합에 따른 EEG 패턴의 분석 결과를 이리한 로봇 동작을 통해 구현하기 위한 플랫폼 간의 연동을 진행한다. Microsoft Visual Studio 2010 기반 MFC를 이용하여 EMBOT-320과 Emotiv 간의 무선 네트워크 인터페이스를 구축, EMBOT-320의 실시간 카메라 영상을 피험자에게 보여주고 전방으로 일정한 속도를 유지하면서 전진하게 된다.

피실험자는 동작 상상을 하여 로봇의 방향을 제어하게 되는데, 동작 상상 도중 목표로 인식되는 대상이나 사물을 보았을 때, O1, O2 전극에서 발생하는 P300 EEG의 특징을 검출하여 로봇은 강제 정지시킨 후, 다음 명령의 입력을 기다린다. 다음 명령은 주로 대상에게 접근, 경계, 관찰 등으로 분류되며 해당 명령은 P300을 이용한 체크보드 방식으로 진행된다. 이때 발생하는 노이즈와 신호지연은 문턱 값을 설정, 입력되는 EEG를 증폭하여 노이즈를 제거하고, 지연되는 신호는 실제 실험을 통해 확인하고 수정할 계획이다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 BCI를 이용한 로봇 동작 제어 기술의 실용화를 위한 방법으로서 동작 상상 수행 과정에서 시각적 자극을 제시하지 않았을 경우, 객체 인식 반응을 나타내는 P300을 유발하는 목표를 동시에 제시하였을 때의 EEG 패턴 분석을 목표로 실험을 수행하였으며, 이를 실용 로봇 플랫폼에 적용하였다. 동작 상상-P300 기반 객체 인식에 관련된 EEG 측정 실험 결과, 시각적 자극을 제시하고 동작 상상을 하는 경우가 시각적 자극이 없는 실험에서보다 인식률이 높게 나왔지만 P300을 기반으로 객체의 인식을 동시에 진행한 경우에는 객체 인식과 동작 상상이 개별적으로 했던 실험 A에서보다 인식률이 50% 이상 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 시각적 자극을 제시하지 않고 동작 상상을 하는 도중에 P300을 유발하는 자극을 제시하는 실험 C의 경우 동작 상상 성공률과 P300 기반 객체 인식률 모두 높은 결과 값이 나오지는 않았지만, 피험자의 지속적인 훈련과 실험 분석 방법을 보완을 통해 실용적인 로봇 제어 기술로 변환 가능하다는 점을 의미한다. 동작 상상 관련하여 피실험자를 선택할 때 P300과는 다르게 피험자의 많은 훈련이 필요하며, 본 논문에서 필요한 피실험자를 추가하기 위해 시간이 더 필요하다. 본 논문은 두 가지 EEG를 융합하기 위한 가능성을 확인하고 이를 적용하기 위한 준비단계이다.

향후 과제로 동작 상상과 P300 객체인식 관련 EEG 패턴 분석 과정의 정확도를 동적 환경에서 항상 시킬 방법을 구체화하고, 단순히 로봇 플랫폼을 기반으로 수행하는 주행 제어뿐만 아니라 더욱 복잡한 목적성 행동(object-directed behavior) 구현을 위한 제어 기술 개발을 진행할 예정이다.

참고문헌

[1] A. Kubler, N. Neumann, J. Kaiser, B. kotchoubey, T.

- Hinterberger, and N. Birbamer, "Brain-computer communication: self-regulation of slow cortical potentials for verbal communication," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 82, no. 11, pp. 1533-1539, Nov. 2001.
- [2] C. Guger, R. Leeb, D. Friedman, V. Vinayagamoorthy, G. Edlinger, and M. Slater, "Controlling virtual environments by thoughts," *Clinical Neurophysiology*, vol. 118, no. 4, pp. e36, Mar. 2007.
- [3] M. Tangermann, M. Krauledat, K. Grzeska, M. Sagebaum, B. Blankertz, C. Vidaurre, and K-R Müller, "Playing pinball with non-invasive BCI," *Advances in Neural Information Processing System*, vol. 21, pp. 1641-1648, 2009.
- [4] J. R. Bach, "Amyotrophic lateral sclerosis- communication status and survival with ventilatory support," *American Journal of physical Medicine & Rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*, vol. 72, no. 6, pp. 343-349, Dec. 1993.
- [5] E. Buch, C. Weber, L. G. Cohen, C. Braun, M. Dimyan, T. Ard, J. Mellinger, A. Caria, S. Soekadar, A. Fourkas, and N. Birbaumer, "Think to move: A neuro-magnetic BCI (Brain-Computer Interface) system for chronic stroke," *Stroke*, vol. 39, no. 3, pp. 910-917, Feb. 2008.
- [6] J. Allen, "Shot time spectral analysis, synthesis, and modification by discrete fourier transform," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 25, pp. 235-238, Jun. 1977.
- [7] G. Townsend, B. K. Lapallo, C. B. Boulay, D. J. Krusienski, G. E. Frye, C. K. Hauser, N. E. Schwartz, T. M. Vaughan, J. R. Wolpaw, and E. W. Sellers, "A novel P300-based brain-computer interface stimulus presentation paradigm: Moving beyond row and columns," *Clinical Neurophysiology*, vol. 121, pp. 1109-1120, 2010.
- [8] E. Donnchine, K. M. Spencet, and R. Wijesinghe, "The mental prosthesis: assessing the speed of a P300-based brain-computer interface," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 174-179, June 2000.
- [9] V. Jeyabalan, A. Samraj, and C. K. Loo, "Motor imaginary-based brain-machine interface design using programmable logic controllers for the disabled," *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* vol. 5, pp. 617-23, Oct. 2010.
- [10] K. E. Ko and K. B. Sim, "HSA-based HMM optimization method for analyzing EEG pattern of motor imagery," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 8, pp. 747-752, Aug. 2011.
- [11] B. Blankertz, G. Dornhege, M. Krauledat, K.-R. Müller, and G. Curio, "The non-invasive berlin brain-computer

interface: fast acquisition of effective performance in untrained subjects," *NeuroImage*, vol. 37, no. 2, pp. 539-550, Aug. 2007.

- [12] J. H. Im, S. H. You, G. I. Jee, and D. H. Lee, "A path generation algorithm for obstacle avoidance in waypoint navigation of unmanned ground vehicle," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 8, pp. 843-850, Aug. 2011.



김 용 훈

2012년 강원대학교 제어계측공학과(공학사). 2012년~현재 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 석사과정. 관심분야는 Brain-Computer Interface, Intention Recognition Machine Learning 등.



고 광 은

2007년 중앙대학교 전자전기공학부(공학사). 2007년~현재 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 석·박사 통합과정 수료. 관심분야는 Human-Computer Interaction, Brain-Computer Interface System, Intention Recognition, Neuro- Science, Neuro-Robotics, 소프트웨어 등.



박 승 민

2010년 중앙대학교 전자전기공학부(공학사). 2010년~현재 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 석·박사 통합과정. 관심분야는 Brain-Computer Interface, Intention Recognition, 소프트웨어 등.



심 귀 보

1984년 중앙대학교 전자공학과(공학사). 1986년 중앙대학교 전자공학과(공학석사). 1990년 The University of Tokyo 전자공학과(공학박사). 1991년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. 2002년~현재 중앙대학교 중소기업산학협력센터 센터장. 2006년~2007년 한국지능시스템학회 회장. 2007년~현재 (사)한국산학연협회 서울지역협회 회장. 2009년~2010년 중앙대학교 중앙도서관장 및 박물관장. 2011년~현재 중앙대학교 스마트지능로봇연구센터 센터장. 관심분야는 인공지능, 뇌-컴퓨터 인터페이스, 의도 인식, 감성 인식, 유비쿼터스 지능형로봇, 지능시스템, 컴퓨테이션 인텔리전스, 지능형 홈 및 홈 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅 및 센서 네트워크, 소프트웨어(신경망, 퍼지, 진화연산), 다체계 및 자율분산로봇시스템, 인공 면역시스템, 지능형 감시시스템 등.