

맞춤형 BCI시스템을 위한 STFT와 PSO를 이용한 ERS특징 추출

ERS Feature Extraction using STFT and PSO for Customized BCI System

김용훈 · 김준엽 · 박승민 · 고광은 · 심귀보[†]

Yong-Hoon Kim, Jun-Yeup Kim, Seung-Min Park, Kwang-Eun Ko, and Kwee-Bo Sim[†]

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

본 논문에서는 사지가 마비되어 신체를 움직이지 못하지만 뇌의 기능은 정상적인 대 마비 환자들을 위한, 생각만으로 외부의 장치를 제어할 수 있도록 하는 BCI(Brain-Computer Interface) 시스템 제어기술을 연구하였다. 사지를 움직이는 상상을 할 경우, 뇌의 운동 감각 피질 영역에서 발생하는 뮤리듬(μ 8-12Hz)에서 증가되는 신호의 패턴인 Event-Related Synchronization (ERS)를 Short-Time Fourier Transform (STFT)과 Particle Swarm Optimization (PSO)를 이용하여 검출 하는 방법을 시도 하였다. ERS는 사람마다 다른 주파수 영역에서 발생하며, 본 논문에서는 ERS가 가장 많이 발생되고 진폭이 큰 주파수를 검출하기 위해 8-12Hz 주파수영역의 EEG평균에서 PSO를 이용하여 가장 큰 진폭을 가지는 주파수를 확인 한 후, 해당 주파수를 사용하여 C3, C4채널에서 동작 상상 시 나타나는 ERS의 특징을 PSO를 이용하여 찾는 것이며, 개개인 마다 다른 주파수 영역에서 나타나는 ERS의 특징을 가장 많이 발생하는 주파수영역으로 고정하여 움직임 분석을 시도 하였다. 실험 결과에 사용된 data는 BCI competition IV data set의 실험자 b data를 사용 하였고, 하나의 주파수 대역만을 사용한 결과 왼손 40%, 오른손 38% 검출 정확도를 보였다.

키워드 : Event-Related Synchronization, Brain Computer Interface, Particle Swarm Optimization

Abstract

This paper presents a technology for manipulating external devices by Brain Computer Interface (BCI) system. Recently, BCI based rehabilitation and assistance system for disabled people, such as patient of Spinal Cord Injury (SCI), general paralysis, and so on, is attracting tremendous interest. Especially, electroencephalogram (EEG) signal is used to organize the BCI system by analyzing the signals, such as evoked potential. The general findings of neurophysiology support an availability of the EEG-based BCI system. We concentrate on the event-related synchronization of motor imagery EEG signal, which have an affinity with an intention for moving control of external device. To analyze the brain activity, short-time Fourier transform and particle swarm optimization are used to optimal feature selection from the preprocessed EEG signals. In our experiment, we can verify that the power spectral density correspond to range mu-rhythm(μ 8~12Hz) have maximum amplitude among the raw signals and most of particles are concentrated in the corresponding region. Result shows accuracy of subject left hand 40% and right hand 38%.

Key Words : Event-Related Synchronization, Brain Computer Interface, Particle Swarm Optimization

1. 서 론

21세기를 대표할 10대 기술에 선정된 BCI(Brain Computer Interface) 기술은 사람의 뇌파를 이용하여 전자

기기를 컨트롤 하는 것이 목적으로, 예를 들면 루게릭병과 같은 질환으로 인해 운동신경이 손상되어 신체를 움직이지 못하는 환자들 경우, 의식은 깨어있지만 대부분의 신체 활동이 불가능하다. 이들은 외부 자극에 반응을 하지 못하기 때문에 외부와 소통할 수 있는 방법이 매우 제한적이어서 마비가 일어나지 않은 얼굴 주변의 근육만을 사용하여 자신의 의사를 표현 한다[1].

하지만 이러한 환자의 경우에도 뇌는 정상적으로 활동을 하고 있으며, 질환이 없는 사람의 뇌와 똑같은 사고나 생각을 할 수 있다는 선행 연구가 이미 보고되었고, 뇌의 전기적인 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해 비침습적으로 측정된 전기신호를 Electroencephalogram(EEG)라 한다. C. Gandevia와 C. Rothwell는 신체 특정 부위의 근육을 움직였을 때, 뇌의 감각운동 피질 영역에서 EEG의 비동기 현상으로 인해 주파수는 증가하는 대신 EEG의 진폭이 상

접수일자: 2012년 4월 20일

심사(수정)일자: 2012년 4월 20일

게재확정일자: 2012년 7월 29일

[†] 교신 저자

본 논문은 본 학회 2012년도 춘계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구지원사업 도약연구(전략)과제로 수행된 연구입니다(No.2011-0029861). 연구비지원에 감사드립니다.

대적으로 감소하는 ERD현상과 그 반대인 ERS현상이 일어난다는 것을 증명하였다[2][3]. 또한 G. Pfurtscheller와 N. Christa는 신체의 직접적인 움직임이 아닌 특정 부위의 움직임을 상상하는 것만으로도 감각 운동 피질 영역에서 특정 부위를 움직일 때와 동일한 EEG가 발생한다는 것을 밝혔으며, 이를 이용한 BCI 시스템을 소개하였다[2][3].

하지만 두피(scalp)에서 측정된 EEG로부터 사용자의 의도나 감정 상태를 파악하고 그 결과를 컴퓨터와의 인터페이스에 활용하려는 시도는 오래 전부터 진행이 되어 왔으나, 관련 기술은 현재까지도 실험 단계에 있다[4]. 현재까지 진행 된 BCI시스템은 그림 1과 같으며, 기본적인 BCI 시스템의 구조를 나타낸다. 수집된 EEG를 신호 처리의 전처리 단계에서 잡음을 제거하고 미약한 EEG를 증폭하는 과정을 보여준다.

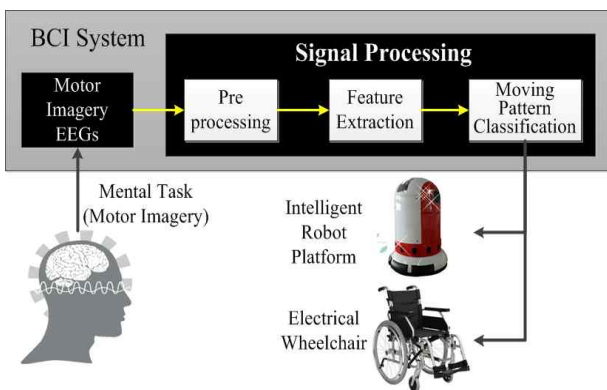


그림 1. 외부 장치 제어를 위한 동작 상상 EEG 신호 기반 BCI System 구조

Fig. 1. Configuration of Motor Imagery EEG-based BCI System for External Device Control

특징 추출단계에서 EEG를 분류할 때의 인식률을 높이기 위해 전처리과정을 거친 데이터를 중요하거나 혹은 중요하지 않은 부분으로 구분하여 준다. 마지막으로 특징 분류 단계에서는 특징 추출단계에서 얻은 특징들이 어떤 집단에 속하는지 분류를 하여 분류된 데이터를 이용 여러 전자기기장치를 컨트롤 할 수 있다[5]. 하지만 ERS는 사람에 따라 발현되는 주파수가 다르고 이를 측정하기 위해서는 매번 다른 주파수에 대한 분석을 필요로 한다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 맞춤형 BCI시스템 제작에 목적을 가지고, PSO를 뮤리듬($\mu 8-12\text{Hz}$)에 사용하여 여러 주파수들 중에 최대 진폭을 가지는 주파수를 검출하고, 해당 주파수의 ERS 특징을 사용하여 움직임 검출을 시도 하였다.

2. 관련 연구

2.1 ERD/ERS

인간은 직접적인 행동을 하지 않아도, 생각만으로 직접적인 운동을 하였을 때와 동일한 EEG가 발생 하게 된다. 하지만 해당 신호는 검출하기 힘들고 사람마다 다른 부분의 뇌 영역을 사용하며, 일정하지 않은 EEG를 나타낸다. 동일한 인물이 똑같은 생각을 했을 때, 시간과 상황에 따라 EEG는 다르게 검출 된다. 우리는 해당 EEG를 보다 정확하

게 검출하기 위하여 시각적 자극을 제시, EEG를 분석하게 된다. 이 때 시각적 자극에 의하여 왼손이나 오른손 움직임을 상상 하는 동안 뮤리듬 영역에서 ERD/ERS를 발견 할 수 있다. 신체의 움직임과 관련한 뮤리듬은 신체의 움직임이나 움직임의 상상으로 인해 그 활동이 쇠약해지거나 차단되는 현상을 나타내며, 이와 같이 피험자가 어떠한 동작을 수행함으로써 EEG가 억제되는 현상을 ERD라고 한다.

ERD는 주로 뮤리듬과 베타리듬 영역에서 짧은 시간에 국소적으로 발생하는 EEG진폭의 감소를 말한다. ERD의 특성과는 반대로 ERS는 피험자의 동작에 의해 EEG의 진폭이 증가되는 상반된 특징을 가지고 있다. 만약 오른손 움직임을 위해 좌뇌가 활성화 되어 진폭이 증가 하게 된다면 그 동안 우뇌의 진폭은 억제되게 된다. 본 논문에서는 동작 상상에 의해 EEG의 진폭이 증가되는 ERS를 검출하기 위해 아래의 방법을 사용 하였다[6][7].

ERS는 다음과 같은 순서로 구할 수 있다.

1. EEG raw data를 수집한다. (EEG data의 sampling rate 1000Hz)
2. Mu영역의 주파수 성분의 데이터를 band pass IIR filter (8-12Hz)를 사용하여 추출한다.
3. 모든 Trial에 대하여 평균을 구한다. (큐를 시작으로 4초 동안의 움직임 상상을 하였으며, 1-2초는 휴식을 가진다.)
4. 평균값을 아래와 같은 식으로 ERS값을 계산한다.

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

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

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

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

위 식에서 P 는 파워를, j 는 시간을 나타내고, f_k 는 주파수를 나타내며, R_{f_k} 는 f_k 주파수에서의 r_0 에서 r_0+m 시간의 평균 파워를 나타낸다.

2.2 Short-Time Fourier Transform

EEG를 분석하는 방법으로 푸리에 변환을 이용한 주파수영역에서의 해석방법이 주로 이용되고 있다. 그러나 푸리에 변환은 주파수 성분만을 표시하기 때문에 움직임 상상EEG의 특징을 분석하기에는 어려움이 있다. 따라서 주파수 영역의 해석과 시간영역의 해석을 표현할 수 있는 방법으로는 STFT, 위그너-빌 분포(WVD), 웨이블렛(Wavelet)등을 사용 하고 있다. 본 논문에서는 가장 기본적으로 사용되는 STFT를 이용하여 움직임

상상 시 증가되는 진폭과 주파수-시간을 검출 하였다. STFT는 시간-주파수 해석을 위한 가장 간단한 방법으로 짧게 쪼개진 시간영역에서 원하는 부분에 대한 푸리에 변환을 수행하고 기간 축을 기준삼아 주파수분포를 도시해 나가는 방법이다. STFT는 이동하는 창 의 크기에 따라 시간과 주파수의 해상도 차이가 발생하는데 창 의 크기가 크면 주파수의 해상도는 좋아지나 시간해상도는 떨어지고, 창 의 크기가 작으면 반대가 된다. 식 (5)는 본 논문에서 사용한 STFT의 공식이다.

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

$x(t)$ 는 입력 신호, $w(t)$ 는 window function이며, $X(\omega, \tau)$ 는 주파수-시간을 가지는 출력을 나타낸다. 사용 된 윈도우는 hamming window를 사용하였고 frequency band는 8Hz to 12Hz 이다.

2.3 Particle Swarm Optimization

PSO는 확률론적 최적화 기법으로, 집단을 이루는 구성 요소들의 사회성을 기반으로 최적화를 수행한다. 즉 먹이가 많은 곳에 새나 물고기가 떼가 몰리는 것과 같다. 여기서 개체들(particle)은 탐색 공간 내에서 최적의 장소로 이동하며, 각 개체들의 위치는 두 개의 최적의 값을 업데이트 하면서 새로운 위치의 값을 갖게 된다. PSO는 초기 불규칙한 해들의 모임으로 시작하며, 이 점은 다른 알고리즘과 비슷하다. 하지만 각 잠재적인 해들이 다시 랜덤 한 속도와 이전 잠재적인 해들의 결합으로 구성된다는 측면에서 다르며, 최적의 위치 정보를 가지는 개체를 pbest라 하며, pbest의 모든 개체 중 가장 최적의 위치정보를 나타내는 개체를 gbest라 한다. 식 (6)을 통하여 다음 iteration에서의 속도를 업데이트 하고, 식 (7)을 통해 구한 속도와 현재의 위치의 합을 통하여 다음 iteration에서의 위치를 업데이트 한다[8].

$$V_{ij}^{k+1} = wv_{ij}^k + c_1r_1[pbest_{ij} - x_{ij}^k] + c_2r_2[gbest_j - x_{ij}^k] \quad (6)$$

위 식의 c_1 , c_2 는 상수이며, r_1 , r_2 는 임의의 실수이다.

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (7)$$

x^k 는 현재지점, x_{ij}^{k+1} 는 계산에 의해 업데이트 될 지점을 나타내고, v^k 는 현재의 속도, v^{k+1} 은 계산에 의해 업데이트 될 속도를 나타낸다.

3. 제안 방법

STFT와 PSO를 이용한 특징 추출은 아직 까지 선행 연구가 되어 있지 않은 부분이며, 본 논문에서는 PSO의 particle들이 하나로 수렴하는 특성을 이용하여 ERS의 특징인 진폭의 최대값을 찾는 부분에 사용하였다. 그림 2는 본 논문의 전체적인 적용 방법을 나타내고 있다. 먼저 EEG raw signal은 BCI competition IV의 data에서 1000Hz sampling rate까지는 C3, C4전극의

신호를 사용 하였고, band pass IIR filter를 사용하여 8-12Hz영역으로 분류 하였다. ERS의 특징은 보통 8-30Hz의 주파수 영역에서 나타나며, 본 논문에서 8-12Hz영역을 사용하는 이유는 다음과 같다. PSO를 넓은 주파수 영역에 적용하였을 경우 local maximum에 빠질 확률이 높고, 뮤리듬(μ 8-12Hz)영역만을 사용하여도 움직임 상상에 대한 분류가 가능하기 때문에, 본 논문에서는 해당 영역에만 PSO를 적용 하였다. STFT는 hamming window를 사용하였고, 각 주파수 영역에서 ERS를 검출하기 위해 식 (4)를 사용하여, ERS의 power spectrum을 구할 수 있었다.

위에서 얻은 영역에 PSO알고리즘을 사용하여 particle와 swarm이 결합된 optimal포인트를 찾는다. Optimal포인트는 움직임 상상 시 증가되는 진폭이며, Fitness value은 $P_{j,fk}$ 로 최대 파워와 시간, 주파수이다. 8-12Hz주파수영역의 평균 진폭에서 최대 진폭을 찾아, ERS가 가장 많이 발생 하는 주파수를 확인 할 수 있다. particle position과 velocity같은 경우 식(1)을 통해 업데이트 시켜 준다[9].

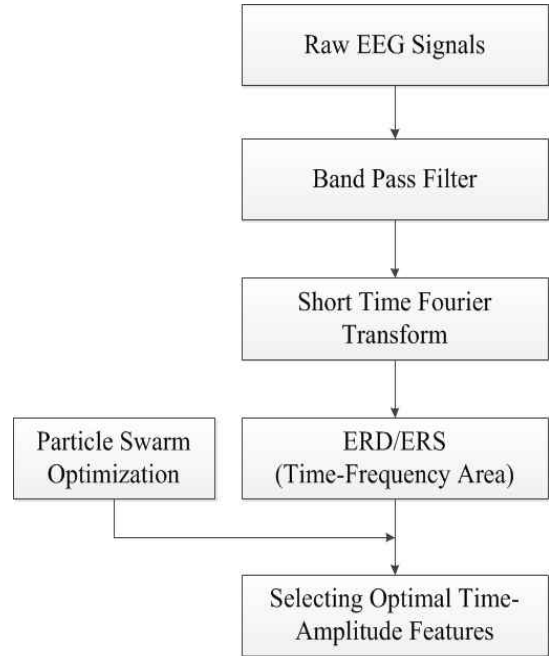


그림 2. STFT와 PSO를 이용한 주파수 대역에서의 최대 진폭과 시간 선택 과정
 Fig. 2. Selection Process of Time-maximum Amplitude in Frequency band utilized STFT and PSO

4. 실험 결과

4.1 BCI competition IV Data Set

실험에 사용된 데이터는 BCI competition IV Data set을 사용하였다. BCI competition IV data set은 왼손, 오른손 다리의 움직임 상상 EEG를 시작신호를 주었을 때와 그렇지 않을 때의 data이다. 본 논문에서는 움직임 상상 시작 신호를 주었고, 왼손과 오른손 움직임 상상에 대한 실험자 b의 data를 사용하여 분석하였다. 실험자는 64채널 EEG측

정 장비를 사용하였으며 59채널만 사용하였다. 움직임 상상의 횟수는 총 200회로 왼손100회 오른손 100회의 움직임 상상을 하였다. 측정된 EEG raw 신호는 1000Hz의 sampling rate 가지며, 전극은 국제 규격인 MCN(Modified Combinatorial Nomenclature)으로 국제적으로 명명된 전극 부착 법을 사용하였다[10].

그림 3은 BCI competition IV의 실험 paradigm 이다. 처음 2초 동안 안정하는 시간을 가진 후 2초 동안 화살표로 움직임 상상의 목표를 제시 하여 준다. 그 다음 4초 동안 실험자는 목표에 맞는 움직임 상상을 하게 되고, 1.75초에서 2.25초 동안의 휴식을 가진다.

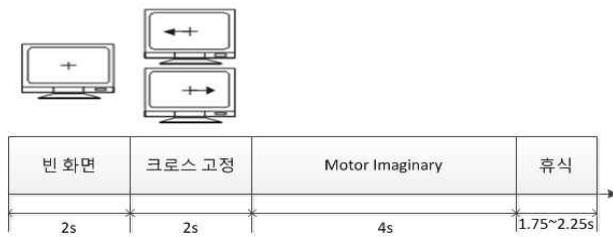


그림 3. BCI competition IV의 실험 패러다임
Fig. 3. Experiment Paradigm of BCI competition IV

그림 4는 본 논문에서 움직임 상상 분석을 위해 사용한 전극을 나타낸다. MCN은 국제적으로 명명된 전극 부착법이며, 20채널 이하의 전극을 사용할 경우 10-20전극 시스템을 사용하기도 한다. 사용 전극으로는 C3, C4의 데이터를 분석 하였다. 대부분의 실험에서는 움직임 상상의 분석에 C3, C4 전극을 주로 사용하였고, 본 논문에서도 C3, C4 전극을 사용하여 움직임 상상 시 가장 진폭이 큰 주파수를 찾고, 해당 주파수를 이용하여 ERS의 특징을 검출 하였다.

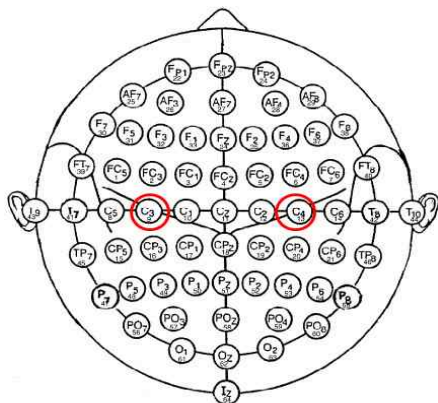


그림 4. 국제적으로 명명된 MCN 시스템
Fig. 4. International MCN Electrode System

4.2 C3와 C4채널의 분석과 결과

본 논문에서는 PSO를 이용하여 움직임 상상 시작 신호부터 휴식시간 동안의 데이터 중 움직임 상상 시 발현되는 ERS의 가장 큰 특징을 가지는 주파수를 검출 하기 위해 3초부터 9초 동안의 신호를 분석하였다. 우선 PSO를 적용하기 전에 STFT을 이용한 오른손 움직임 상상에 대한 분석 결과는 그림 5와 같다. 그림 5는 STFT 결과와 8-12Hz 각각의 구간을 1Hz 단위로 정하

고 그 구간에서의 평균 진폭값을 나타낸다. 모든 결과는 해당 채널에서 얻은 신호로 움직임 상상에 대한 각각의 trial의 평균 신호이다. 그림 2에서 2초부터 4초까지 움직임 상상을 위한 목표를 제시 하였다. 본 논문의 결과는 화살표가 제시된 시점의 1초 후 부터 7초 동안의 데이터를 사용하였다. 1초에 목표로 제시된 화살표가 사라졌으며 4초 동안 움직임 상상을 하였다. 마지막 2초는 휴식 상태에 대한 신호 이다. 그림 5에서 화살표가 사라진 후 부터 2초 동안 9Hz와 8Hz에서 진폭이 크게 증가된 것을 확인 할 수 있으며 단위는 μV^2 이다. C3채널은 오른손 움직임 상상의 특징을 분석하기 위해 사용되는 채널로 그림 5와 같이 진폭이 크게 증가 하는 것을 확인 할 수 있으며, 이 결과는 움직임 상상 시작 신호를 보고 오른쪽 손의 움직임 상상을 할 경우 1-2초 동안 좌뇌의 C3전극 부분이 강하게 활성화 되었다는 것을 알 수 있었다.

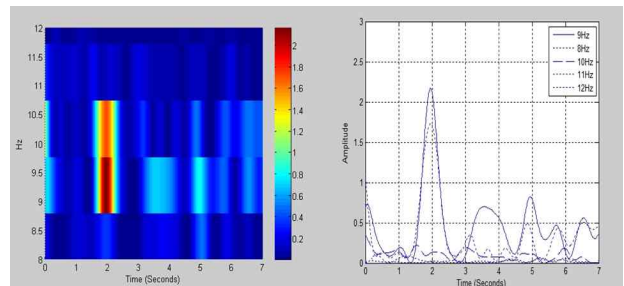


그림 5. 오른손 상상에 대한 C3채널의 결과
Fig. 5. Result of C3 Channel about Right Hand Imaginary

그림 6은 C3의 반대 채널인 C4의 채널에서 측정된 결과이다. 그림 5와 마찬가지로 9Hz와 8Hz에서 움직임 상상 시작 신호를 시작으로 진폭이 증가 되는 ERS의 현상을 확인 할 수 있다.

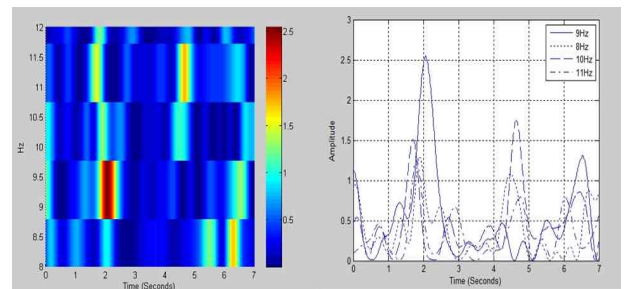


그림 6. 왼손 상상에 대한 C4채널의 결과
Fig. 6. Result of C4 Channel about Left Hand

실험자 b는 왼손 100회와 오른손 100회의 평균 EEG에서 9Hz 주파수영역의 진폭이 많이 증가되는 것을 확인 할 수 있었고, 결과를 통해 실험자 b는 움직임 상상 시 평균적으로 9Hz 주파수에서 ERS의 특징이 가장 많이 나타났다는 것을 확인 할 수 있었다. 위 결과를 바탕으로 PSO를 사용하여 8-12Hz의 주파수에서 최대 진폭을 가지는 주파수의 검출 가능 여부를 그림 7에서 확인 하였다.

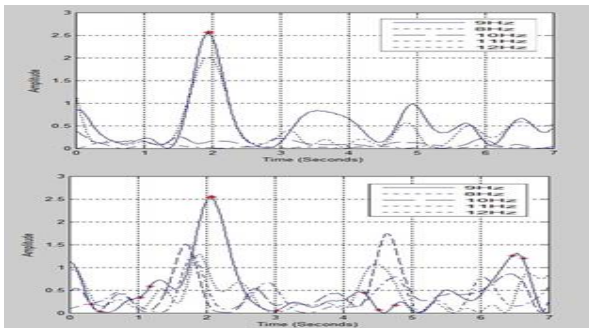


그림 7. PSO 결과
Fig. 7. Result of PSO

그림 7은 8-12Hz 주파수 영역에서 PSO를 사용한 결과이다. STFT로 확인한 것과 마찬가지로 9Hz 주파수의 최대 진폭에 particle가 모두 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 위의 결과에서 particle의 개수는 30개이며 iteration은 총 100번으로 설정하였다. 최대 진폭을 찾기 위해 랜덤으로 뿌려둔 particle들의 값을 서로 비교하여 최대 진폭에 수렴하도록 만들었다. 하지만 C4 채널의 평균 신호의 경우 30개의 particle중 총 20개의 particle만 최대 진폭을 찾은 것을 확인할 수 있다. 이 문제는 iteration을 더 높게 잡으면 해결할 수 있지만, iteration이 높아도 particle들이 local maximum에 빠질 수도 있다는 문제가 있기 때문에 iteration은 100으로 고정하여 측정하였다. 측정된 결과에서 확인된 9Hz 주파수를 실험자 b의 최적화된 주파수로 가정하고, 해당 주파수에서 ERS의 특징을 분석한 결과 표1과 같다.

표 1. 특징 검출 정확도
Table 1. Accuracy of Feature Detection

class	정확도(%)
왼손	40
오른손	38

표 1은 각각의 trial data에서 9Hz 주파수에 PSO를 사용하여 최대 진폭을 검출한 결과와 BCI competition IV data set의 class 분류표를 비교한 결과이다. 9Hz 주파수에서 PSO를 사용하여 C3, C4채널에서 움직임 상상에 대한 ERS 특징 추출을 시도한 결과, 왼손은 40번의 ERS특징이 9Hz 주파수에서 발생하였고, 오른손은 38번 발생하였다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 STFT를 이용하여 움직임 상상 시 C3와 C4채널의 8-12Hz 주파수 영역에 대한 진폭의 변화를 확인하였고, 이를 통해 움직임 상상 시 각 채널에 대한 특징을 확인할 수 있었으며, 본 논문의 목적인 PSO를 이용하여 움직임 상상 구간에서 최대 진폭의 검출을 시도한 결과 particle들이 수렴하는 것을 확인할 수 있었고, 표 1의 정확도 분류 결과 왼손 40%와 오른손 38%의 정확도를 보인다.

향후 추가적인 분석 방법으로 주파수 영역을 변환하거나 fitness value를 수정하여 최대 진폭을 백분율로 수정하면 정확도를 향상시킬 수 있을 것이며, PSO를 이용한 특징 추출은 차 후 3차원 공간에 사용하여 주파수와 시간-전압까지 확인할 수 있는 방법으로 확장시킬 수 있으며 이를 이용하여, 평균 데이터가 아닌 각 trial에서 움직임 상상에 대한 특징을 검출할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] A. Kübler, N. Neumann, J. Kaiser, B. Kotchoubey, T. Hinterberger, N. Birbaumer, "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 Systems*, vol. 21, pp. 1641-1648, 2009.
- [4] A. Kübler, B. Kotchoubey, J. Kaiser, JR. Wolpaw, N. Birbaumer, "Brain - computer communication: unlocking the locked in," *Psychological Bulletin*, vol. 127, no. 3, pp. 358-375, May. 2001.
- [5] N. Birbaumer, N. Ghanayim, T. Hinterberger, I. Iversen, B. Kotchoubey, A. Kübler et al, "A spelling device for the paralysed," *Nature*, vol. 398, no. 6725, pp. 297-298, Mar. 1999.
- [6] 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.
- [7] 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 neuromagnetic brain-computer interface (BCI) system for chronic stroke," *Stroke*, vol. 39, no. 3, pp. 910-917, Feb. 2008.
- [8] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [9] 김용훈, 박승민, 고험은, 심귀보 "손 운동상상의 특징추출을 위한 PSO 기반 EEG 신호분석," *한국지능시스템학회 2012년도 춘계학술대회 학술발표논문집*, vol. 22, no. 1, pp. 113-114, Apr. 2012.
- [10] 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.

저 자 소 개



김용훈(Yong-Hoon Kim)

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

관심분야 : Brain-Computer Interface, Intention Recognition
Machine Learning 등.

Phone : 02-820-5319

E-mail : moonloves2@cau.ac.kr



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.

Phone : 02-820-5319

E-mail : jy915@cau.ac.kr



박승민(Seung-Min Park)

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

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

Phone : 02-820-5319

E-mail : sminpark@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.

Phone : 02-820-5319

E-mail : kkeun@cau.ac.kr



심귀보(Kwee-Bo Sim)

1990년 : The University of Tokyo
전자공학과 공학박사
1991년 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기공
학부 교수
2006년 ~ 2007년 : 한국지능시스템학회
회장

관심분야 : 인공생명, 뇌-컴퓨터 인터페이스, 의도인식, 감성인
식, 유비쿼터스 지능형로봇, 지능시스템, 컴퓨테이
셔널 인텔리전스, 지능형 홈 및 홈 네트워크, 유비쿼
터스 컴퓨팅 및 센서 네트워크, 소프트 컴퓨팅(신경
망, 퍼지, 진화연산), 다개체 및 자율분산로봇시스템,
인공면역시스템, 지능형 감시시스템 등.

Phone : 02-820-5319

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

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