

Brain-Computer Interface를 위한 사용자 의도 분석 및 인식 시스템 설계

신재완*, 신동일, 신동규

*세종대학교 컴퓨터공학과

e-mail:shinnom@gce.sejong.ac.kr, {dshin, shindk}@sejong.ac.kr

Design of User Intention Analysis and Recognition System for Brain-Computer Interfaces

Jaewan Shin*, Dongil Shin, Dongkyoo Shin

*Dept of Computer Engineering, Sejong University

요 약

인간 활동의 전 영역을 총괄하는 대뇌정보기능을 대표하는 뇌파는 대뇌피질에서 발현된다고 알려져 있다. 의학적인 연구 결과에 의하면 인지·사고 등의 역동적인 지식 활동, 다양한 감성·행동, 및 고차원적인 정신활동까지도 뇌파 분석을 통해서 어느 정도는 기계적인 인식이 가능한 것으로 알려져 있다. 뇌-컴퓨터 인터페이스는 인간 중심의 시스템을 위한 핵심 연구로서 뇌파 신호 분석에 의한 사용자 의도 인식 시스템의 개발을 목표로 한다. 이에 따라서, 범용적으로 적용 가능한 뇌파신호 분석 기법 및 자동 처리 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히, 뇌는 부위별로 그 기능이 세분화 되어 있으며 의식 상태와 정신활동에 따라 뇌파가 수시로 변하면서 특정한 패턴을 갖는다. 이러한 뇌의 정보처리 메커니즘을 밝혀내면 전자장치와의 통신 인터페이스를 통해 기기를 제어할 수 있다. 본 논문은 사용자의 의도를 분석하는 방법과 이를 통해 다른 장치의 인터페이스를 제어할 수 있는 시스템을 설계했다.

1. 서론

뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI: Brain-Computer Interface) 혹은 뇌-기계 인터페이스(BMI: Brain-Machine Interface)는 뇌전도 (EEG: Electroencephalogram)를 이용하여 뇌에서 발생하는 전기적 신호를 측정된 후 분석된 결과를 컴퓨터나 기계와의 상호작용에 활용하는 인터페이스 시스템을 지칭한다 [1]. 즉, 사람과 컴퓨터의 의사소통 수단으로 뇌의 활동을 직접적으로 반영하는 사용자 인터페이스이다.

인간 활동의 전 영역을 총괄하는 대뇌정보기능을 대표하는 뇌파는 대뇌피질에서 발현된다고 알려져 있다. EEG는 대뇌피질내의 신경세포의 전기적 활동을 두피에 부착한 전극을 통하여 취득하고 이를 연속된 파형으로 기록한 것으로, 뇌파는 1~50Hz의 주파수와 약 10~200 μ V의 진폭을 가진다. 이 전기적 활동성은 후에 EEG라 명명되었고, EEG가 실험자의 정신적 상태에 따라 변한다는 것이 검증되었다 [2-4]. 이를 활용하면 사용자의 뇌 활동에 담겨있는 의도나 상태를 컴퓨터에 전달해서, 사용자가 물리적인 움직임 없이도 컴퓨터에 명령할 수 있고, 컴퓨터가

사용자의 상태를 파악하고 그에 맞는 정보를 제공 해주는 것이 가능하게 된다 [5].

여러 연구들에서 BCI 환경을 구축하기 위해 감각운동 리듬(SMR: Sensorimotor Rhythms) 방식[5]을 사용하였다. 이 방법은 인간이 신체를 움직일 때 운동피질에서 발생하는 뇌파를 직접 분석하는 패러다임이다 [6].

본 논문은 사람의 뇌파를 전기적인 신호로 변환한 EEG를 이용하여 전자기기를 제어 하는 시스템의 설계를 최종적인 목표로 한다. 이를 위해 측정된 뇌파에서 사용자의 정확한 의도인지를 분류하기 위한 분류 알고리즘이 필요하다. 또한, 개개인 마다 다른 주파수 영역에서 나타나는 ERS(Event-Related Synchronization)의 특징이 가장 많이 검출되는 주파수 영역이 정의되어야 한다. 따라서, 대뇌피질의 세부 영역에 대한 활성화 정도를 자동으로 측정할 수 있고, 이를 통하여 응용프로그램에 명령을 내릴 수 있다. 본 논문에서는 감각운동리듬 방식을 사용하여 사용자의 뇌파에서 의도를 인지할 수 있는 뇌파 분석 기법 및 처리기술을 연구하고 BCI 시스템을 설계한다.

*본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원사업 의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-4007)

2. BCI 시스템

2.1 EEG 신호검출

가공되지 않은 raw 데이터 형태의 뇌파로부터 의미 있는 데이터를 추출하기 위해 신호 검출, 전처리, 특징 추출 및 분류의 과정을 거친다. 신호검출 단계에서는 머리에 부착된 전극을 통해 뇌파를 측정하며 사전에 장비의 샘플링 주파수, Gain 값, 측정 채널 등의 설정이 필요하다. 본 논문에서는 사용자의 뇌파 데이터 획득을 위해 그림 1의 Emotiv사의 EEG Neuroheadset 장비를 사용하였으며, 해당 장비는 14채널, 2048Hz의 Sampling rate를 갖는다. 전극이 부착되는 위치는 International 10-20 Locations 중에서 AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4의 14개의 장소이다. 측정된 뇌파 데이터는 Digital Notch Filter를 사용하여 8-12Hz 영역으로 분류된다. 또한 실험 참가자에게 실험에 대한 내용을 사전에 설명하여 측정도중 돌발적인 행동을 자제하도록 하여 데이터를 얻는다.



(그림 1) EEG Neuroheadset(좌), International 10-20 Location(우)

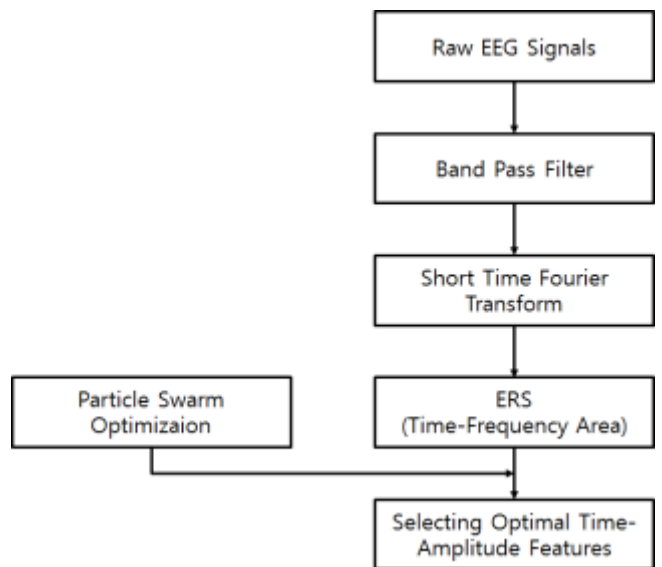
2.2 특징추출

BCI 시스템의 구조는 일반적으로 그림 2와 같은 구조를 갖으며, 학습 단계에서 특징 추출은 분류에 필요한 핵심적인 특징을 추출해냄으로써 불필요한 계산을 줄여주고 분류 성공률을 높이는 역할을 한다. 예를 들어 사용자가 왼손을 움직임을 상상했을 경우 오른쪽 뇌의 운동피질 부분의 8-12Hz의 대역에서 뇌파가 증가(Event-related synchronization) 하거나 감소(Event-related synchronization)하는 현상이 일어난다. 사용자가 동작 상상을 할 경우 측정된 뇌파 데이터로부터 뇌의 운동 감각 피질 영역에서 발생하는 뮤(μ)-리듬(8-12Hz 주파수 영역)이 증가하는 신호의 패턴인 ERS를 STFT(Short-Time Fourier Transform)과 PSO(Particle Swarm Optimization)를 이용하여 검출한다.

ERS가 가장 많이 발현되면서 전압이 큰 주파수를 검출하기 위해서 뮤-리듬 영역의 EEG 평균에서 PSO를 이용

하여 가장 큰 진폭을 가지는 주파수를 확인한 후, 해당 주파수를 사용하여 각 채널에서 동작 상상 시 나타나는 ERS의 특징을 찾는다. 개개인 마다 8-12Hz 내의 서로 다른 주파수 영역에서 나타나는 ERS의 특징이 가장 많이 발현되는 주파수 영역으로 집중하여 분석 하는 단계를 거친다.

그림 2는 제안하는 특징추출 방법에서 STFT와 PSO를 이용한 주파수 대역에서의 최대 진폭과 시간 선택과정을 나타낸 순서도이다. STFT은 시간-주파수 해석을 위한 가장 효율적인 방법으로 짧게 쪼개진 시간영역에서 원하는 부분에 대한 푸리에 변환을 수행하고 기간 축을 기준 삼아 주파수 분포를 도시해 나가는 방법이다. STFT를 통해 주파수 영역의 해석과 시간 영역의 해석을 표현할 수 있다. PSO는 확률론적 최적화 기법으로, 집단을 이루는 구성 요소들의 사회성을 기반으로 최적화를 수행한다. 여기서 구성 요소들은 탐색 공간 내에서 최적의 장소로 이동하며 각 요소의 위치는 두 개의 최적의 값을 업데이트 하면서 새로운 위치의 값을 갖게 된다는 것에 기초한다.



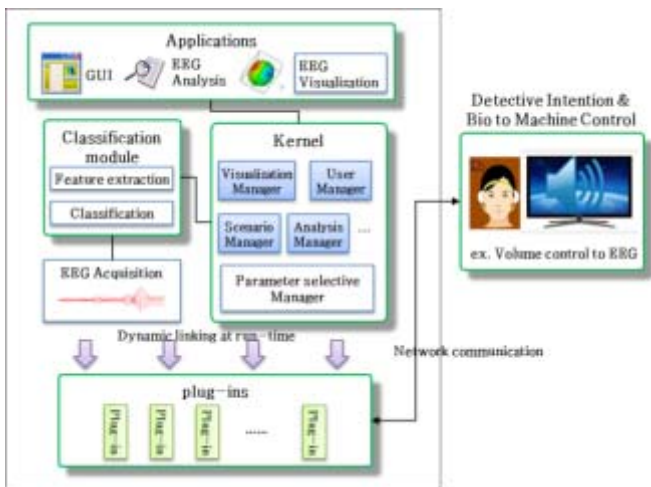
(그림 2) 특징추출 순서도

3. BCI 시스템 설계

BCI 시스템은 특정 상태의 뇌파 신호를 측정하여 특이점이나 특징을 추출하고 이를 분류한 후 일반적인 제어 신호로 변환하여 컴퓨터나 기기 등을 제어하는 시스템 관련 기술이다. 앞서 설명한 배치법에 따라서 전극을 부착한 후 신호 측정 및 특징을 추출하며, 디지털 신호로 전환된 측정 데이터를 알고리즘을 이용하여 신호처리 후, 이를 분류하여 제어신호로써 일반화 시킨다.

분류 알고리즘은 각각의 뇌파 데이터가 어떤 집단에 속

하는지를 분류하는 역할을 한다. 특징추출 단계에서 추출된 특징들은 분류기(Classifier)의 입력으로 이용된다. 여기서 분류 알고리즘은 측정된 여러 뇌파 모델을 사용하여 클래스를 구별할 수 있도록 학습되어 진다. 보통 BCI 시스템에서는 두 개에서 다섯 개의 클래스를 학습시키는데 하나하나의 뇌파 데이터는 분류기를 통하여 각각의 클래스로 분류된다. 입력으로 사용되는 모델에 따라 알고리즘을 적용시켜서 최적의 성능을 발휘하기 위해 조합을 알아내어 적용한다. 또한 본 논문에서는 각 클래스의 입력을 통해 확률적인 계산을 위해서 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model)을 사용한다.



(그림 3) 사용자 의도인지 인터페이스 시스템 구조도

실시간 BCI 시스템을 구현하기 위한 제안하는 시스템의 구조는 그림 3과 같다. 측정된 뇌파 데이터는 먼저 잡음 제거, 채널 선택, 주파수 및 시간 영역 선택 등의 전처리 과정을 거친 후 특징추출 단계를 통해 시스템이 사용자의 의도나 상태를 예측하는데 사용될 수 있는 정보를 추출하고, 그런 정보를 바탕으로 빠르게 의도 및 상태 분석의 결과를 내는 분류 단계를 거친다. 분류단계는 기계 학습법(machine learning)의 단계와 비슷하게 크게 훈련 단계 (Calibration Phase)와 시험 단계(Feedback Phase)로 나뉘게 된다. 훈련 단계에서는 사용자로부터 반복된 뇌 신호를 대량으로 측정해서 전처리(Preprocessing)를 통해 불필요한 데이터를 제거하고, 뇌 신호 데이터에 두드러진 특징을 추출(Feature Extraction)한 다음, 특징적인 뇌 신호를 구별하는 분류기 (Classifier)를 생성 한다. 이렇게 생성된 분류기는 시험 단계에서 실시간으로 들어오는 사용자의 뇌 신호를 분류하고, 분류된 결과는 원하는 Machine에 대한 제어명령으로 입력될 수 있으며, 제어명령의 피드백을 통해서 사용자는 자신의 의도가 전달되었음을 확인할 수 있는 구조로 되어있다.

4. 결론

본 논문은 사용자의 의도인지를 분석하고 이를 통해 BCI에 적용하고 활용하기 위한 분석방법 및 설계 방법을 제시하였다. 본 논문에서 제시하는 사용자 의도인지 분석 방법은 사용자의 생체신호를 측정하기 위한 전극을 사용자의 14곳에 부착하여 사용자의 뇌파 데이터를 획득하고, 획득된 뇌파 데이터를 뇌파 신호 검출 및 사용자 의도인지 분석을 위한 장치로 전송한다. 뇌파신호 검출 및 사용자 의도 인지를 위한 시스템은 뇌파 데이터를 수신하여 노이즈 제거 및 신호의 증폭을 수행하는 전처리 과정을 통해 전 처리된 raw 데이터의 뇌파 데이터를 주파수 신호로 변환하고, 변환된 주파수의 대역에 따라 뇌파 데이터를 분류하고 사용자 의도인지를 검출하는 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 이명춘, 조성배, “뇌전도 기반 3D 자동차 시뮬레이터 제어를 위한 뇌-컴퓨터 인터페이스 구현,” 한국정보과학회, 2012 가을 학술발표논문집 제 39권, 제 2호(B), pp. 280-282, 2012.
- [2] 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, 2001.
- [3] 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. 36-38, 2007.
- [4] M. Tangermann, M. Krauledat, K. Grzeska, M. Sagebaum, B. Blankertz, C. Vidaurre, and K-R Muller, “Playing pinball with non-invasive BCI,” Advances in Neural Information Processing System, vol. 21, pp. 1641-1648, 2009.
- [5] 조호현, 전성찬, “뇌전도 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술,” 광주과학기술원, pp. 47-55, 2012.
- [6] 안민규, 전성찬, “뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템의 원리 및 기술 동향,” 정보과학회논문지, 제 29권, 제 4호, pp. 42-53, 2011.
- [7] H. Ramoser, J. Muller-Gerking, G. Pfurtscheller, “Optimal Spatial Filtering of single trial EEG during imagined hand movement,” IEEE Trans. Rehab, Eng., vol. 8, pp. 441-446, 2000.