Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 2 pp.167-171, May 2007

뇌 컴퓨터 인터페이스를 위한 뇌파와 동작 인지와의 동기화에 관한 연구

황민철[1] · 김규태[2] · 고상태[1] · 정병용[2]

[1]상명대학교 디지털미디어학부 / [2]한성대학교 산업시스템공학과

A Research on EEG Synchronization of Movement Cognition for Brain Computer Interface

Min Cheol Whang[1], Kyu Tae Kim[2], Sang Tae Goh[1], Byung Yong Jeong[2]

[1]Division of Digital Media Engineering, Sangmyung University, Seoul, 110-732
[2]Department of Industrial Systems Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792

ABSTRACT

Brain computer interface is the technology of interface for next generation. Recently, user intention has been tried to be recognized for interfacing a computer. EEG plays important role in developing practical application in this area. Much research has focused on extracting EEG commander generated by human movement. ERD/ERS has generally accepted as important EEG parameters for prediction of human movement. However, There has been difference between initial movement indicated by ERD/ERS and real movement. Therefore, this study was to determine the time differences for brain interface by ERD/ERS. Five university students performed ten repetitive movements. ERD/ERS was determined according to movement execution and the significant pattern showed the difference between movement execution and movement indication of ERD/ERS.

Keyword: Brain computer interface, EEG, ERD, ERS, Human movement

1. 서 론

본 연구는 뇌파를 이용하여 컴퓨터를 제어할 수 있는 뇌파 인터페이스 기술에 기초가 되는 뇌파 명령어의 패턴 분석에 대한 것이다. 뇌파 인터페이스 기술은 차세대 인터페이스 기술 중 하나로 현재 연구가 활발히 진행되고 있다. 차세대 컴퓨터 인터페이스 기술은 인간과 인간간의 인터페이스 기술을 인간과 컴퓨터간의 인터페이스로 응용하고자 하는 기술이다. 예를 들어, 음성, 시선, 제스처, 얼굴표정, 정황(context) 등을 파악하여 사용자의 의도나 의지에 따라 컴퓨터나 기계가 반응하도록 하는 것이다.

사용자의 의도 파악을 위해 뇌파가 중요한 인터페이스 변수 중에 하나로 고려되고 있다. 뇌파를 이용하여 컴퓨터와의 인터페이스를 가능하게 하는 기술을 BCI(brain computer interface)라고 한다. 뇌파의 유효 변수를 추출하여 컴퓨터 커서를 움직이려는 시도가 성과를 거두고 있다[Pfurtscheller, et al., 1999; Wolpaw, J.R., 2000]. 이러한 연구성과는 신체장애자에게 먼저 적용하고 있다. 동작의도나 의지는 있지만 동작이 어려운 사지 마비나 절단 환자가 뇌파를 이용하

*본 연구는 2006년도 의료공학융합기술사업의 차세대 능동형 동작 기능 회복 기술 개발 과제에서 지원과제임.
교신저자: 황민철
주 소: 110-732 서울시 종로구 홍지동 7, 전화: 02-2287-5293, E-mail: whang@smu.ac.kr

여 컴퓨터를 작동시키거나 능동형 의수족을 구동시키는 실험적 시도가 활발하다[Pfurtscheller, et al., 2003].

뇌파 명령어의 유효한 뇌파 변수로써 ERD(event related desynchronization)과 ERS(event related synchronization)가 일반적으로 받아들여지고 있다(Ffurtscheller, et al., 1999). ERD는 인간이 동작하기 전 알파(alpha) 영역 또는 뮤(mu) 영역의 출현량이 급격히 감소하는 현상을 의미한다. ERS는 동작이 시작될 때 베타(beta) 영역의 출현량이 증가하는 것을 의미한다. 그러므로 동작 시점을 중심으로 상반된 뇌파의 변화는 뇌파 명령어를 추출할 수 있는 가능성을 제시하고 있다(Wolpaw, et al., 2000).

그런데 이러한 변수의 경향이 일관성을 보이기 위해서는 훈련을 많이 해야 하는 제약 조건이 있다[황민철 외, 2004; Whang, et al, 2002; Wolpaw, et al., 1991]. 훈련은 뇌파의 패턴을 뚜렷이 하기 위하여 같은 동작을 반복하게 하도록 하는 것이다. 그러나 동작 횟수 따라 뇌파의 정성적 패턴은 같지만 정량적 패턴이 달라 짐을 알 수 있었다(황민철 외, 2004). 그러므로 동작 시작점을 이용한 뇌파의 명령어로 이용하려 한다면 동작 시작과 뇌파의 변화 시점간의 시차를 허용해야만 한다. 그러므로 본 연구에서 제안하는 것은 기존 연구(황민철 외, 2004)에서 알 수 있듯이 뇌의 각 부위에서의 측정 데이터를 실시간으로 동시에 평균 구하여 이용한다면 동작 반복에 의한 데이터 변화를 감소 시킬 수 있음을 착안하여 센서 어레이(sensor array) 방법을 이용하였다.

또한 뮤파 억제와 베타 파 활성화의 시점이 동작 시점으로 알려져 있다. 이것은 뇌파 상에서 억제와 활성화 지점으로 보여 지는 것인데 동작 시점으로 일치하지 않는다(Wolpaw, et al., 1991, 1994; Stancak, et al., 1995). 왜냐하면 동작 실제 시점을 중심으로 데이터 분석을 해보았지만 경향의 일관성이 보기가 어렵기 때문이다(황민철 외, 2004). 그러므로 본 연구는 실제 동작 시점과 뇌파 상의 동작 시점을 분석하여 시차가 있는 지 여부와 시차가 있다면 얼마나 되는 지를 분석해 보았다.

2. 연구 방법

2.1 실험

본 연구에 참여한 피실험자 5명이며 나이는 20~27세이며 동작에 지장이 없는 건강한 대학생으로 하였다. 피실험자는 시각적으로 동작지시를 받아 동작하도록 하였다. 동작은 오른손, 왼손, 및 휴식으로 구성되어 있다. 동작시간은 4초 휴식 후에 왼손이나 오른손 동작이 6초간 반복적으로 주먹을 쥐었다 폈다 하도록 하였으며 오른손 동작이 10번 발생했을 시 실험을 마치도록 하였다. 오른손과 왼손 동작 순서는 순서를 피실험자가 순서를 예측하지 못하도록 무작위로 지시하였다. 피실험자가 동작과 휴식을 반복하는 동안에 뇌파(EEG)를 측정하였다. 뇌파 측정 장비는 미국 Biopac 사의 MP100이었다.

본 연구에서 채택한 뇌파 측정 방식은 어레이 방식이었다. 이 방식은 뇌파 측정 부위의 일관적 패턴을 추출하여 평균을 이용함으로써 특정 측정 점에서의 노이즈나 일관성이 벗어난 노이즈를 해결하기 위하여 본 연구에서 제안되었다. 그림 1에서 제시한 바와 같이 측정 부위는 국제 10~20 측정법에 의거한 C3와 그 측정 점을 중심으로 한 전 후 좌 우의 2.5cm 구간에 위치한 4개의 측정 점이었다. 결과적으로 5개의 측정 점에서 동일 동작에 대한 EEG를 측정이 되는 셈이다. 본 연구에서 측정된 총 데이터는 5개 측정 점에서의 EEG, 5명의 피실험자, 동작당 10회 반복을 포함하여 250개 이루어져 있으며 휴식 4초와 동작 6초간도 고려되었다.

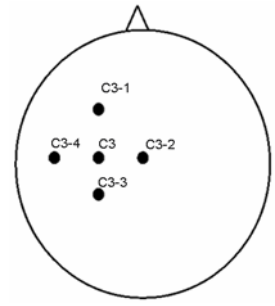

그림 1. EEG 측정 부위

2.2 분석

측정된 EEG는 0.25초 단위로 FFT(fast fourier transform) 분석하여 2초 단위로 이동평균을 실시하였다. 다시 말해서, 0.25초 단위의 8개 FFT 결과를 평균으로 구할 때 7개의 데이터는 전 데이터이고 1개의 데이터가 입력된 데이터로 고려되었다. 그러므로 FFT의 결과가 시간에 따라 스무딩(smoothing) 처리가 되었다. 주파수 분석은 뮤파와 베타파를 포함하는 8~30Hz로 하였으며 1Hz 해상도의 파워 덴시티(power density)로 실시하였다. 이동평균과 1Hz 해상도의 주파수 분석을 5개의 채널에 적용하였다. 측정 부위 별 뇌파는 정량적으로 변화가 있으나 정성적으로 같을 것으로 가정하고 C3를 중심으로 한 채널 별 가중치를 고려한 통합 뇌파를 구하였다. 그림 1에서 제시한 바와 같이 C3로부터 C3-1, C3-2, C3-3, C-4의 비율을 구하였다. 구한 각각의 비율은 각 채널의 가중치로 이용하였다.

결과적으로 동작에 의해 유발된 최종 EEG는 다음과 같은 가중치에 의해 얻어진다. 식 1에서 제시한 바와 같이 최종

뇌파인 E는 각각의 측정치 En에서 Wn의 가중치가 고려되었다. 여기서의 n은 측정 점을 의미한다.

$$E = E_1 W_1 + E_2 W_2 + E_3 W_3 + E_4 W_4 + E_5 W_5 \quad (1)$$

그러므로 얻어진 E는 동작 실행과 휴식 별 뮤파(8~12 Hz)와 베타 파(13~30Hz)의 변화를 분석할 수 있었다. 가중치를 고려한 뇌파의 동작간 데이터는 그림 2와 같이 구할 수 있었다. 그림 2는 가중치를 고려한 뇌파가 그렇지 않은 뇌파보다 잘 정의된 ERD(event related desynchronization)를 구할 수 있음을 보여 주고 있다. ERD는 동작 시 뮤파의 억제를 의미하는 데 그림 2에서 제시된 바와 같이 동작 전에서 동작 시점에서 이루어져야 할 ERD가 동작이 시작된 이후부터 동작이 마칠 때까지 보여지는 흥미로운 사실을 알 수 있었다. 이것은 동작이 실제로 시작된 점에서 뇌파 상의 동작 시점과의 차이를 보여 주는 것이다.

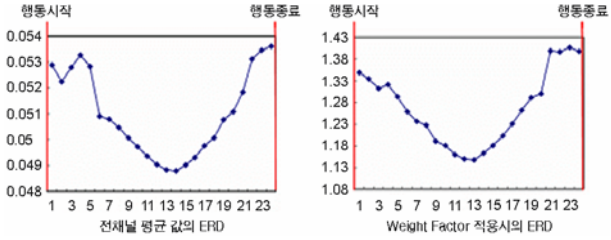

그림 2. 5개 채널의 가중치를 고려한 ERD

이러한 현상을 분석하기 위해 동작 중의 뇌파 변화를 분석하였다. 6초의 동작에서 2초씩 나누어 초기 중기 말기 동작으로 구분하여 분석하였고 이를 채널 별로 살펴보았다.

3. 연구 결과

동작이 진행되는 6초 동안의 뇌파의 변화를 분석해 보았다. 그림 3은 뮤파를 그림 4는 베타 파 변화를 제시하고 있다. 흥미롭게도 뮤파의 변화 경향은 동작 중에 억제가 되었다가 동작 종료 전에 다시 증가하는 것을 보여준다. 이러한 경향은 각 채널에서 공통적으로 제시되고 있다. 한편 베타 파는 동작 종료 시에 증가되는 것을 보이고 있다. 동작 중기 이후 동작 종료까지의 변화 경향은 뮤파와 베타 파가 같고 동작 초기와 동작 중기까지는 뮤파는 감소 베타 파는 약간 증가(채널 5 제외)를 보여 주고 있다.

그림 5은 뮤파 영역(알파 영역)과 베타 영역의 억제와 활성화를 보여 주는 ERD, ERS 결과를 보여 주고 있다. 제시된 바와 같이, 동작 시점 좌우에서 활성화와 억제가 보여 주고 있으며 베타 파는 동작 종료 시에 활성화를 보여 주고 있다. 결과적으로 억제와 활성화를 보여주는 ERD, ERS 결과를 보여 주고 있다. 제시된 바와 같이, 동작 시점 좌우에서 활성화와 억제가 보여 주고 있으며 베타 파는 동작 종료 시에 활성화를 보여 주고 있다. 결과적으로 억제와 활성화가

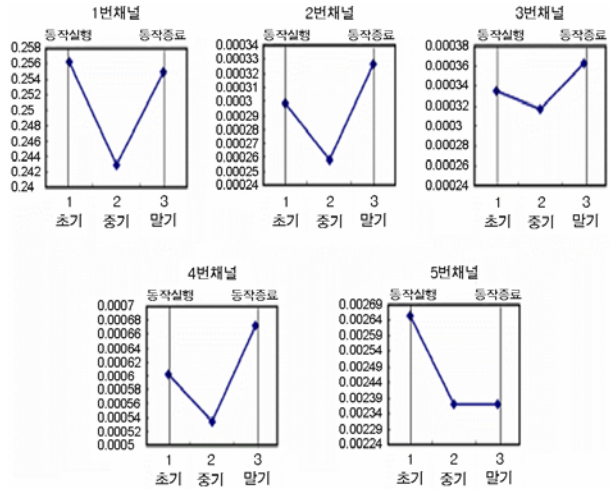

그림 3. 동작 중 뮤파 변화

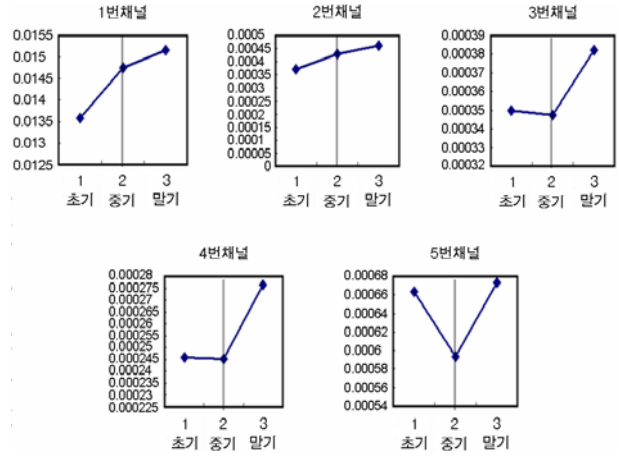

그림 4. 동작 중 베타 파 변화

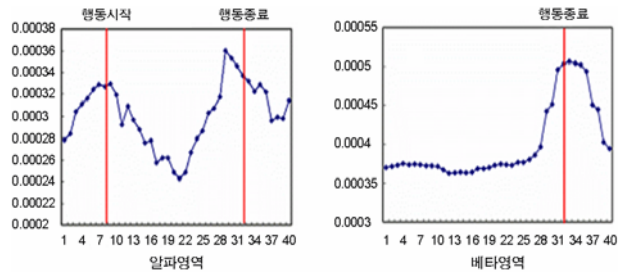

그림 5. ERD와 ERS

일어나는 시점이 동작이 실행되는 시점이라고 한다면 동작이 시작 되고 2~3초 정도의 후에 뮤파 억제와 베타 파 활성화가 일어나고 있으므로 동작 시점의 인지가 지연되고 있음을 보여 주고 있다.

이러한 현상을 통계적 유의성 검증하기 위해 문헌에서 제시한 뮤파 억제 시점인 동작 1초 전의 뮤파와 본 연구에서 제시한 뮤파 억제 시점을 t-test로 비교 검증하였다. 동작 시점이 동작 전 1초와 동작 후 최저점과 유의한 차이를 보이고 동작 이후 뮤파 억제가 동작 이전 뮤파 억제보다 동작 시점으로 유의함을 알 수 있었다(p<0.0001). 동작 시 뮤파의 억제를 의미하는 ERD의 최저점은 동작 이후 평균 2.7초 표준편차 0.34초 시점에서 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

4. 결론 및 검토

본 연구는 뇌파로써 동작 시점을 예측할 수 있는지를 분석하였다. 뇌파의 변화의 일관성을 고려하기 위해 그림 1과 같이 5개의 측정 부위를 동시에 고려하였다. 각각의 측정 부위의 가중치를 고려하여 한 동작에 대한 5채널의 뇌파가 분석되었다. 측정 점 하나에서 측정된 뇌파 보다는 측정 부위를 확장하여 어레이 형식으로 뇌파를 측정하여 가중치를 부여하여 신호처리를 하였을 때 노이즈가 제거된 뇌파를 좀 더 뚜렷하게 얻을 수 있었다. 인지적 노이즈 즉 동작을 위한 의지 보다는 다른 생각이나 집중하지 못함으로 야기되는 노이즈를 다소 완화할 수 있는 가능성도 보여진다. 채널 중에 강력한 패턴만 찾아내는 소프트웨어적 신호처리적 방법이라고 볼 수 있다. 이러한 다채널을 이용한 패턴 분석 및 추출은 높은 해상도의 스펙트럼 신호처리 방법인 독립요인분석(independent component analysis)와 자동회귀분석(autoregressive analysis)를 실시간으로 이용할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이 적용과 분석은 차후 연구로 진행될 것이다.

또한 시간에 대한 뮤파와 베타 파의 변화를 분석하기 위해 0.25초 간격마다 FFT를 실시하여 6초간 동작을 2초간으로 나누어 동작 초기, 중기, 말기를 나누어 고려해 보았다. 이러한 고려는 기존 연구인 동작 시점을 전후하여 뮤파의 억제와 베타 파의 활성화가 이루어져 있다는 연구 결과(황민철 외 2004; Pfurtscheller, et al, 1999; Stancak, et al., 1995)에서 동작 시점 이후 변화를 보고자 함이었다.

결과적으로 동작 시점 이후 동작 중기에 뮤파 억제가 뚜렷이 보여지고 있다. 베타 파 역시 동작 중기에 억제를 보이고 있다. 흥미롭게도 동작 말기 즉 동작을 정지할 때쯤 다시 활성화가 일어 난다는 것이다. 이것은 뮤파와 베타파 공히 같은 현상을 보이고 있다. 이러한 현상의 설명은 실험에서 동작의 큐는 시각적 정보 제시에서 단서를 찾을 수 있다. 피험자는 시각적 명령에 의해 동작을 실행하였다. 본 연구 결과는 동작 진행 중에 뮤파 억제와 베타 파 활성화가 분석되었다. 이것은 동작을 인지하는 시점이 실제의 동작 시점에서 지연되고 있다는 설명이다. 구체적으로 동작 시점이 2~3초 정도가 동작 인지 지연이 되었다. 이러한 현상은 동작의 시점에서 동작 명령을 보고 행동으로 옮기고 행동이 진행 중에 동작 인지가 되고 있다는 것으로 설명 될 수 있다. 또한 동작의 시각적 명령을 운동으로 전환시키는 과정을 의미할 수도 있다.

이러한 억제는 지연이 아닌 다른 원인일 가능성도 배제하지 않는다. 오히려 동작의 시점 보다는 동작의 중단을 하려고 하는 의지가 더 강렬해서 뮤파를 억제 시킬 수도 있다. 베타 파의 동작 중단 시에 활성화가 동작 시점 보다 크게 작용함을 보이는 것도 이런 가능성을 추정 할 수 있다. 이러한 형상은 그림 5에서 뚜렷이 보여 주고 있다.

결론적으로, 뇌파에 의한 시스템적 동작 예측은 동작 시작 이후에 동작계획 및 동작 실행의 경향을 보일 수 있으므로 이러한 동작 인지 지연을 BCI(brain computer interface)의 연구에 중요한 요소로 고려해야 한다고 사료된다.

참고 문헌

Pfurtscheller, G. and Lopes da Silva, F. H., "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles", *Clinical Neurophysiology*, 110, 1942-1857, 1999.

Pfurtscheller, G., Muller, G., R., Pfurtscheller, J., Gerner, H. J. and Rupp, R., "Thought-control of functional electrical strimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia," *Neuroscience Letter*, 351, 33-36, 2003.

Ruffini, G., Dunne, S., Farres, E., Watts, P. C. P., Mendoza, E., Silva, S. R. P., Grau, C., Marco-Pallares, J., Fuentemilla, L. and Vandecasteele, B., "ENOBIO-First tests of a dry electrophysiology electrode using carbon nanobubes," *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. Proceedings of the EMBS 2006, 28th Annual International Conference of IEEE*, Aug. 1826-1829, 2006.

Stancak, A. and Pfurtscheller, G., "Desynchronization and recovery of beta rhythms during brisk and slow self-paced finger movement in man," *Neuroscience letters*, 196, 21-24, 1995.

Whang, M. C. and Lim J. S., "Research on EEG Parameters for Movement Prediction Based on Individual Difference of Athletic Ability and Lateral Asymmetry of Hemisphere", *Korean Journal of Erognomics*, Vol.21, No.3, 2002, 1-12.

Wolpaw, J. R., McFarland, D. J. and Vaughan, T. M., "Brain-computer

interface research at the Wadsworth Center." *IEEE Trans Rehabil Eng* 8: 222-225, 2000.

Wolpaw, J. R. and McFarland, D. J., "Multichannel EEG-based brain-computer communication," *Electroencephalography and Clincal Neurophysiology*, 90, 444-449, 1994.

Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., Neat, G. W. and Forneris, C. A., "An EEG-based brain computer interface for cursor control," *Electro-encephalography and Clinical Neurophysiology*, 78, 252-259, 1991.

황민철, 최철, "컴퓨터와 인터페이스를 위한 뇌파의 ERD/ERS와 동작 반복도간의 상관성에 관한 연구," 대한인간공학회지, 23권, 4호, 57-66, 2004.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 황 민 철 ❖ whang@smu.ac.kr

Georgia Institute of Technology Bioengineering 박사
현 재: 상명대학교 디지털 미디어학부 교수
관심분야: Brain computer interface, Human computer interface, Perceptual Interface, 감성공학, 인간공학

❖ 김 규 태 ❖ kyutae10@naver.com

한성대 산업공학과 학사
현 재: 한성대학교 산업시스템공학과 석사과정
관심분야: 인간공학, HCI

❖ 고 상 태 ❖ xeminix@hotmail.com

상명대학교 소프트웨어학부 학사
관심분야: 신호처리, 시스템 엔지니어링

❖ 정 병 용 ❖ byjeong@hansung.ac.kr

KAIST 산업공학과 박사
현 재: 한성대학교 산업시스템공학과 교수
관심분야: 근골격계질환 예방, 인간공학 진단 및 개선

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 02월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 05월 04일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 09일