

긍/부정 문답 관련 뇌파의 측정과 시간-주파수 분석I

류창수, 송윤선, 김민준, 신승철, 최정미*
한국전자통신연구원, 주식회사 락싸*

A Measurement and a Time-Frequency Analysis of the EEG for Yes/No Response

Chang Su Ryu, Yoonscon Song, Min-Joon Kim,
Seung-Chul Shin, Jeong Mee Choi*
Electronics and Telecommunications Research Institute,
Laxtha Inc.*

요 약

두뇌-컴퓨터 인터페이스로 활용하기 위한 시도로서, 인간의 가장 간단한 의사 표시인 긍/부정 의사와 관련된 뇌파를 측정하고 시간-주파수 분석을 수행하였다. 선행 연구 결과와 뇌파 측정 실험 조건에 대해 살펴 보고, 시간-주파수 분석 결과로부터 긍/부정 반응 동작에 따른 뇌파 변화에 대해 토론하였다.

Key Words: EEG, BCI(Brain-Computer Interface), Yes/No discrimination, time-frequency analysis

1. 서론

인간 친화적인 사용자 인터페이스의 제공을 위해, 문자, 음성, 표정, 제스처, 눈의 움직임 등을 통해 인터페이스를 이루려고 하는 연구가 진행 중이며, 더 나아가 생리 신호 (뇌파, 심전도, 피부저항 등)를 이용하려는 시도가 활

발하다. 뇌파를 이용한 인터페이스는 두뇌의 정보처리 결과인 의사 결정을 언어나 신체의 동작을 거치지 않고 직접 시스템에 전달하는 두뇌-컴퓨터 인터페이스 (Brain-Computer Interface : BCI)를 제공할 수 있다. 1999년에 열렸던 BCI 관련 워크샵은 이에 대한 관심을 반영하고 있다 [1].

표1에서 보는 바와 같이, 뇌파를 이용한 바

이오피드백이나 ①과 같은 단순 응용 기술은 1차 개발된 상태이며, 뇌파를 통해 인간의 의사를 직접 인식하려는 기술은 기초 연구 단계이다. BCI 연구는 특정 뇌파 유도 방식(①-④)과 뇌파 인식 방식(⑤-⑧)으로 크게 대별할 수 있는데, 비록 사용자의 훈련을 통해 특정 뇌파를 출현시키는 방식이라 할 지라도, 그 훈련의 행위가 사용자의 의도와 맞는 것이라면 뇌파 인식으로 분류하는 것이 타당하다고 판단된다. (예를 들어, 손 동작이나 그 상상의 훈련을 통해 μ 리듬을 조절할 수 있게 하는 경우에, 단지 기계의 작동을 위하여 μ 리듬을 이용한다면 특정 뇌파 유도 방식이고, 왼손 동작을 상상하여 왼쪽 의수가 작동을 한다면 뇌파 인식 방식이라고 할 수 있다고 판단된다.)

표1. BCI 연구 동향

연구내용	연구기관
①전기기구 on/off (mind switch)	Univ. of Tech., Sydney (호주)
②뇌파의 실시간 분석과 interactive biofeedback control	IBVA (미국, 벤처기업)
③spelling device [2]	튀빙겐 대학 (독일)
④긍/부정 의사 분별	뇌기능 연구소 (일본)
⑤각성수준 분별 [3]	NHRC & Salk Inst. (미국)
⑥커서 제어, 문자/단어 선택, 부절 제어 [4]	Univ. of Tech. Graz (오스트리아)
⑦정신적 과제 분별 [5]	Colorado state Univ. (미국)
⑧모니터 상의 커서 제어 [6]	뉴욕 주립대(미국)

본 연구에서는 뇌파 인식 방식의 BCI 연구로서, 인간의 가장 간단한 의사인 긍/부정 의사 관련된 뇌파를 측정하고 시간-주파수 분석을 수행하였다.

2. 선행 연구

긍/부정 의사 관련된 뇌파를 측정하기 위한 실험은 1997-1998 년에 걸쳐 두 차례 시행

되었다 [7,8].

표2. 선행 실험 조건

실험	과제	전극	피험 지수	fs	측정 장수
I	-동일 단어 -언어 개념 -그룹 맥락	Fp1, Fp2, O1- O2	12	128	총남대
II	-상식 오행	Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, O2	9	200	총남대

* fs: 표본 추출 주파수 (Hz)

실험 I의 경우, 문제가 제시되면 피험자가 긍/부정 반응을 하게 하였고, 실험 II의 경우, 문제가 제시되고 일정 시간 이후에 답이 제시되면 그 답에 대해 긍/부정 반응을 하게 하였다. 또한 실험 I은 오른손으로 긍/부정 반응을 하게 한 반면에, 실험 II는 긍정은 오른손으로 부정은 왼손으로 버튼을 누르게 하였다.

실험 I과 II에서 측정된 뇌파에 대한 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, PCA(Principal Component Analysis)를 수행한 후, 작은 주성분으로 뇌파를 재구성했을 때, 반응 시간 전후에 진폭이 커짐을 볼 수 있었다. 뇌파의 주파수가 높아질수록 진폭이 작아지는 일반적 경향을 고려할 때, α 파나 β 파보다 높은 주파수 대역이 관련된 것으로 추측된다.

둘째, 30Hz 이상의 γ 파를 여파하여, Fp1과 Fp2 두 채널에 대해 상호상관을 계산하였을 때 (이하 sync 변수라 칭함.), 긍정 반응의 경우, 부정 반응보다 높은 값을 볼 수 있었다.

셋째, 시간-주파수 분석을 행하고, 시간에 따른 출력의 증감을 조사하였다. 부정 반응의 경우, 반응 시간 전에 32 Hz 근처에서 출력이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

앞의 분석에서 얻어진, 출력의 증감과 sync 변수를 입력으로 하여, 인공신경회로망을 학습시켰다. 신경망으로는 다층퍼셉트론을, 학습방식은 오차 역전파 알고리즘을 사용하였다. 오프라인 분석에서, 가장 분별이 잘된 시간 구간에서는 80% 이상의 분별을 보였으나 [9] 다른 시간 구간에 대해 false positive error가 많아 특성의 재신정과 학습이 요구된다.

3. 실험

실험 실험을 보완, 확장하는 실험이 올해 3월에 ETRI 뇌파측정실에서 이루어졌다. 실험실은 측정실과 모니터링실로 분리되어 있으며, 측정실의 경우 40-45dB, 모니터링실의 경우 45-50dB가 유지되게 방음 시설이 꾸며졌다.

표3. 긍/부정 문답 관련 실험 조건

유형	과제	전극	피험자 수	fs
1	-동일 단어(6문항)	Fp1, Fp2,	21	1024
2	-언어 개념(6문항)	F3, F4, Fz,		
3	-상식 문항(12문항)	C3, C4, Cz		

“동일 단어”의 과제는 좌우 두 문자열(예를 들어, 곡류타샷유념 - 곡류타샷유념)의 동일성 여부를 판단하는 과제이며, “언어 개념”의 과제는 단어 간 (예를 들어, 뿌리 : 흙 = 사람 : 농장)의 연관성의 동일성 여부를 판단하는 과제이며, “상식 문항”은 (예를 들어, 닭의 새끼를 병아리라고 부릅니다. 맞습니까?) 난이도가 낮은 아동용 지능 검사 문제에서 추출된 문항에 긍/부정 판단을 하는 과제이다.

뇌파는 1Hz 고대역 통과 필터와 100Hz 저대역 통과 필터, 그리고 60Hz 노치 필터가 사용되었다. 전극은 전두엽 영역과 두정엽의 운동 영역에 해당하는 부위에 부착되었다.

실험 실험과의 차이로는, 최근에 많은 관심이 모아지고 있는 30 Hz 이상의 감마파 분석을 위해 1024 Hz로 표본 추출을 하였다. 또한, 긍/부정 외에 답을 모를 경우 거실 버튼을 누르게 하였고, 부정 반응시는 왼손으로 “A” 키를, 긍정 반응시는 오른손으로 “;” 키를, 그리고 거실 반응시는 space bar를 누르게 하였다.

피험자는 실험실에 입실하여 나이, 손잡이 등의 간단한 피험자 정보를 입력하고, 측정실에서 전극이 부착된 후, 실험과 같은 유형의 예비 실험을 수행함으로써 실험과 실험실 분위기에 적응할 수 있도록 하였다. 그 후, 문이 닫힌 상태에서 기저상태(눈을 감은 상태, 눈을 뜬 상태)의 뇌파가 측정되었다. 자극 전(문제 제시 전) (2초), 자극 중(10초), 자극 후(2초)에 대해 뇌파가 측정되었으며, 반응시간(RT)이 기록되었다. 그리고 자극 유형 간에는 다음 자

극에 대한 간단한 설명이 제시되며, 버튼의 위치에 혼란이 오지 않도록 제시되는 문제 밑에 반응 버튼을 순서대로 표시해 놓았다.

표 4. 반응 시간 (median, 단위 ms)

유형	긍정		부정		거실		개수 (계)
	개수	RT	개수	RT	개수	RT	
1	68	3788	58	3048			126
2	55	4630	58	4930	11	7073	124
3	123	2607	120	2547	9	4589	252
계	246	3378	236	3047	20	5982	502

표 4에서 보듯이, “거실”이 전체 데이터 중 약 4%를 차지하며, 긍/부정 반응에 비해 긴 RT를 나타냄을 알 수 있다.

4. 결과 및 토론

BCI로의 활용을 위해서는 뇌파의 실시간 분석, 사용자에게 편리한 전극 배치, 그리고 작동의 정확성이 요구된다. 특징추출과 분류가 가장 핵심적인 부분이 되겠지만, 이보다 앞서 뇌내에서 처리되는 정보처리의 세부 과정에 대한 이해가 필수적으로 요구된다고 하겠다.

긍/부정 반응 실험의 경우도 제시된 자극의 지각, 긍/부정 판단, 그리고 반응을 위한 동작으로 세부 과정을 나눌 수 있다. Shibata 등이[10] 수행한 GO-NOGO 과제의 경우에 심화자극(예를 들어 삼각각형)이 제시된 후 동일한 자극이 제시되면 GO 반응으로 버튼을 누르고, 다른 자극(예를 들어 역삼각형)이 제시되면 반응을 하지 않는다. 이 경우에도 자극에 대한 판단, 동작 준비, 동작 수행/중지로 세부 과정이 진행되어 보고된 바 있다. 긍/부정 실험의 경우, 긍/부정 판단이 GO-NOGO의 경우보다 훨씬 복잡하며, 역시 동작과 관련된 반응이 존재한다. 따라서, 시간에 따른 세부 과정을 이해할 수 있다면 보다 적절한 특징 추출이 가능한 것으로 판단된다. 또한 실험의 특정 부분과 유사한 실험 결과와도 비교할 수 있어 데이터의 신뢰성 확보에도 필수적이라고 판단된다.

본 연구에서는 시간-주파수 분석을 통해 이 부분을 수행하려고 하였다. 시간-주파수 분석을 선택한 이유는 뇌파에 대해 알려진 대부분의 결과가 주파수 공간에서 이루어졌기 때문에 선행 결과와의 비교가 용이함에 기인한다.

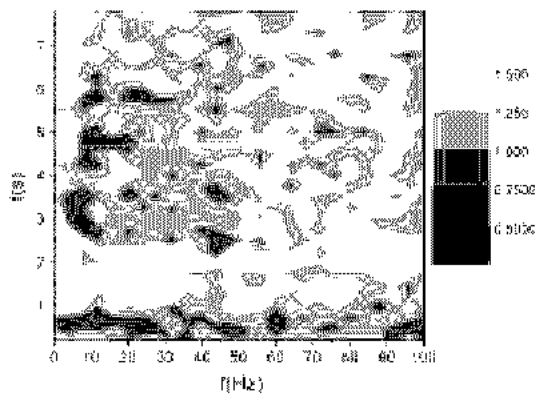


그림 1 피험자에 대해 평균한 스펙트로그램. 2번 유형의 긍정 반응. 자극 제시 시점을 기준으로 정렬함. 짐선은 RT를 나타낸다.

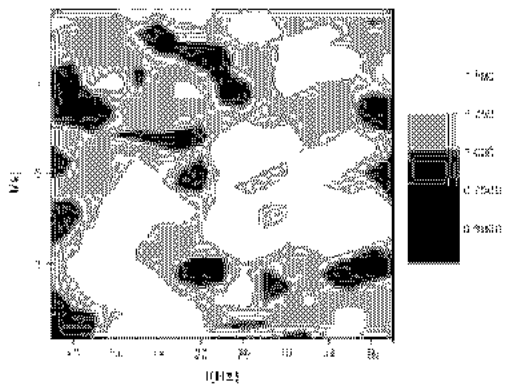


그림 2 피험자에 대해 평균한 스펙트로그램. 2번 유형의 긍정 반응. RT를 기준으로 정렬함.

뇌파 데이터에 대해 단시간 푸리에 변환을 수행하였다. Hanning 창(창의 크기는 0.375초, 91.7% 중첩)을 사용하였고, 기준값으로 나누어 자극에 대한 변화를 보고자 하였다. 여기서 기준값은 자극전(-1.5s부터 -0.5s까지)의 뇌파에 대해 동일한 변환을 하고 평균하여 얻어졌다. 뇌파를 정규화하고 푸리에 변환을 하거나, 출력을 얻은 후에 전체 대역의 출력 합으로

나누는 상대 출력의 경우, 대역 간의 변화를 보는데는 효율적이지만 시간에 따라 절대 출력이 변화하는 양상은 놓칠 수가 있다. 또한 γ 파의 경우 상대적으로 적은 값을 보여, 자극에 따른 뇌파의 변화를 효율적으로 관찰하기 위해 자극전의 값으로 나누었다.

여기서는 동작에 따른 변화만을 일단 살펴보기로 한다. 그림 1은 오른손가락으로 동작하는 긍정 반응을 살펴 보기 위해 C3 채널에 대해 얻은 평균 스펙트로그램이다. 반응 시간 전후로 μ 파($\sim 11\text{Hz}$)와 그의 조화 성분($\sim 22\text{Hz}$)에 해당하는 영역에 감소를 볼 수 있다. 그림 2에서는 이 변화를 보다 명확히 보기 위해 반응 시간에 맞추어 정렬하였다. 반응 전후 1~2s에 걸쳐 μ 파와 그의 조화 성분이 감소함을 볼 수 있다.

최근에 동작과 관련한 많은 연구가 있어 왔다[11]. 또한 90년대 들어 지금까지는 잘 사용되지 않았던 30Hz 이상의 γ 파에 대한 보고가 잇따르고 있다[12,13]. 의미 단어의 경우, 무의미 단어보다 큰 γ 파 출력을 볼 수 있었으며(본 실험의 “동일단어” 과제와 관련이 있음), 지각과 반응에 관련한 결과도 보고되었다. 반응 동작에 대한 세부 분석과 γ 파 관련한 분석이 앞으로 수행할 부분이라 하겠다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신 선도기반기술개발사업 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] IEEE Trans. Rehab. Eng. Vol. 8, No.2, (2000).
- [2] N. Birbaumer et al., "A spelling device for the paralysed," Nature Vol. 398, p.297-p.298 (1999).
- [3] T. Jung et al., "Estimating alertness from the EEG power spectrum, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.44, p.60-p.69, (1997).
- [4] G. R. Müller, C. Guger, and G. Pfurtscheller, "Direct control of a robot

- by electrical signals from the brain," Proc. EMBEC 99 Part II, p.1354-p.1355 (1999).
- [5] C. W. Anderson, E. A. Stolz, and S. Shamsunder, "Multivariate autoregressive models for classification of spontaneous electroencephalographic signals during mental tasks," IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol. 45, p.277-p.286 (1998).
- [6] J. R. Wolpaw, and D. J. McFarland, "Multichannel EEG-based brain computer communication," Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Vol. 90, p.444-p.449 (1994).
- [7] 문성설 그 외, "두 문자열의 동일성 판단과 뇌파", 한국감성과학회 춘계학술대회 p.81-p.88 (1998).
- [8] 문성설 그 외, "뇌파를 이용한 양분법적 판단반응의 분류", 한국감성과학회, (1999).
- [9] Y. Song et al., "Preliminary study of a brain-computer interface", Proc. SCI/ISAS (1999).
- [10] T. Shibata et al., "Event-related dynamics of the gamma-band oscillation in the human brain", Neurosci. Res. Vol. 33, p.215-p.222 (1999).
- [11] G. Pfurtscheller and F. H. Lopes da Silva, "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization", Clin. Neurophysiol. Vol. 110 p.1842-p.1857 (1999) and references therein.
- [12] C. Tallon-Baudry and O. Bertrand, "Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation", Trends Cognit. Sci. Vol. 3, p.151-p.162 (1999) and references therein.
- [13] E. Rodríguez et al., "Perception's shadow: long distance synchronization of human brain activity", Nature Vol. 397, p.430-p.433 (1999).