

긍/부정 문답 과제 수행시 뇌파의 바이코히어런스 분석

남승훈, 류창수, 임태규, 송윤선, 유창용
한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 인체정보연구부 인체정보처리팀

A bicoherence analysis of EEG during Yes/No decision task

Seung-Hoon Nam, Chang-Su Ryu, Taegyul Yim, Yoonseon Song, ChangYong Ryu
Human Information Processing Team, Basic Research Laboratory, ETRI

요약

본 연구는 인간에 있어서 가장 간단한 의사라고 여겨지는 긍정과 부정 응답에 대해 나타나는 뇌파의 변화를 잘 반영하는 특징을 찾아내고자 하기 위한 것이다. 고차 통계적 방법(high order statistical analysis)인 바이스펙트럼(bispectrum)은 뇌파의 다른 부위와 다른 주파수 사이의 비선형 위상커플링(non-linear phase coupling)을 잘 반영하므로, 이를 이용하여 긍정이나 부정을 선택할 때 나타나는 뇌파를 분석하였다. 분석결과, 반응 전 1.25초 ~ 0.5초에 유의미한 차이를 보였다. 긍정과 부정 응답에 대한 뇌파의 주파수와 부위를 찾아 신경회로망의 입력으로 사용하여 긍정과 부정 응답에 대해 분별하였다. 2번의 뇌파실험에서 각각 실험 데이터에 대해서는 긍/부정 차이가 존재하지만 공통적인 특징이 나타나지는 않았다.

Keywords: EEG, Yes/No discrimination, bispectrum, bicoherence

1. 서론

인간이 정보를 처리하는 동안 두뇌 뉴런들의 활성화를 알기 위해서 많은 연구들이 행해져 왔는데 뇌파의 주파수 분석(spectrum analysis)은 아주 일반적인 방법으로 알려져 있다. 하지만 정보 처리의 과정에서 어느 한 부위, 혹은 한 주파수 영역에서의 활성화만 일어나지는 않고, 여러 부위나 여러 주파수성분에서 활성화

되는 것으로 알려져 있다.[1][2]

G. Pfurtscheller 등은 바이코히어런스를 통해서 동작과 관련된 뮤(μ)와 베타파(central β) 성분 사이에 비선형적 연결이 있음을 보였다.[3] B. Schack 등은 짧은 시간에 정보를 처리할 때 세타파(θ)와 감마파(γ)에서 주파수가 증가하고, Fz, F3, Fp1에서 강한 위상커플링이 일어났음을 보였다.[1]

일반적인 파워스펙트럼은 두 주파수 성분 사이의 위상커플링(phase coupling)을 알 수가 없

다. 따라서 뇌파의 다른 채널과 다른 주파수 성분들 사이에 존재하는 비선형적 위상커플링을 알기 위해서는 고차 통계적 분석이 필요하다. 바이스펙트럼은 두 리듬사이에 존재하는 두 주파수 이상의 복합적이고, 비선형적 연결성을 보여주는 가장 정량화된 분석방법으로 알려져 있다.[1][4]

본 연구에서는 긍/부정 응답을 할 때 관여하는 시간, 주파수, 뇌 부위의 연결성을 밝혀내어 긍/부정 분별의 특징을 얻어 신경회로망의 학습을 통해 분별하고자 한다.

2. 실험 설계

실험은 2001년 3월(1차 실험)과 2002년 6월(2차 실험)에 걸쳐 두 번 실험을 하였다. 1차 실험은 사람에게 있어서 가장 간단한 의사라고 생각할 수 있는 긍/부정을 세분화하여 동일단어(6문항), 단어의 연관성(6문항), 상식문항(12문항)에 대해서 실험하였고, 2차 실험은 두뇌-컴퓨터 인터페이스 환경에 적합한 상식문항(40문항)에 대해서만 집중적으로 실시하였다. 1차 실험은 22명의 신체 건강한 성인 남녀를 대상으로, 2차 실험은 31명의 신체 건강한 성인 남녀를 대상으로 국제 표준 규격인 10-20 시스템에 맞추어 측정하였다.[5]-[7]

1차 실험에서는 피험자의 반응을 알기 위해서 키보드를 사용하였으며, 긍정적인 경우에는 오른손으로 '/' 키를 눌렀고, 부정인 경우에는 왼손으로 'z' 키를 눌렀다. 2차 실험에서는 양손에 각각 마우스를 쥐고, 긍정적인 경우에 왼손으로 마우스 버튼을 눌렀고, 부정인 경우에는 오른손으로 마우스 버튼을 눌렀다. 이렇게 동작에 대한 반응을 오른손/왼손을 교차 실험한 이유는 뇌파 측정시 동작에 대한 요소들이 두정엽 부위에 많이 나타나는데 이를 긍/부정에 대한 요소와 구별하기 위해 손동작을 바꾸어서 실험을 하였다. 2차 실험에서는 피험자에게 반응에 대한 편리함을 주기 위해 1차 실험과 달리 반응을 마우스로 교체하였다.

3. 데이터 분석

측정된 뇌파 중에서 근전도(EMG), 눈깜빡임(eye blink) 등의 잡파 혼입이 큰 데이터를 먼저 제거하고, 16Hz ~ 128Hz의 웨이블릿 필터링을 하였다. 상식문제를 풀고 답하는 응답시간(Reaction time : RT)이 피험자별로 편차가 커서 아주 긴 응답시간(4초 이상)은 분석에서 제외하였다. 응답 전 1.5초부터 응답까지 1.5초의 뇌파 데이터를 이용하여 바이코히어런스(bicoherence)를 계산하였다.

바이스펙트럼(bispectrum)은 두 주파수 이상에서 비선형 위상커플링(non-linear phase coupling)을 나타낸다. 세 부위에서의 뇌파를 $x^m(t_k)$, $y^m(t_k)$, $z^m(t_k)$ 라 하고(x, y, z : 각각의 채널에서의 뇌파, m : 측정 시행수, t : 시간, k : 0, 1, ..., N), 여기의 푸리에 변환을 X^m, Y^m, Z^m 이라고 한다면, 바이스펙트럼(B)은

$$B^m(f_1, f_2) = X^m(f_1) \cdot Y^m(f_2) \cdot Z^{m*}(f_1 + f_2)$$

로 정의되며, 평균에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$\underline{B}(f_1, f_2) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M B^m(f_1, f_2)$$

바이코히어런스(Γ)는 바이스펙트럼의 정규화(normalization)로 정의되며, 0 ~ 1 사이의 값을 가지며, 아래와 같이 정의된다.

$$\Gamma(f_1, f_2) = \frac{|B(f_1, f_2)|}{\sqrt{A \cdot B}}$$

$$A = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |X^m(f_1) \cdot Y^m(f_2)|^2$$

$$B = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |Z^m(f_1 + f_2)|^2$$

구해진 바이코히어런스를 긍정과 부정에 대해서 통계처리(t검정)하여 의미 있는 채널과 주파수를 얻었다. 유의미한 바이코히어런스를 신경회로망에 학습시켜 긍정과 부정에 대해서 분별율을 계산하였다. 그림 1은 전체적인 분석 진행을 블록 다이어그램으로 나타내었다.

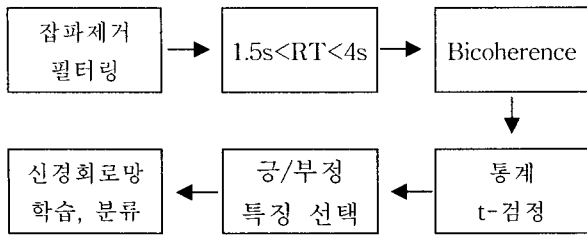


그림 1. Analysis diagram

4. 결과

0.5초의 윈도우에 50% 오버랩(overlap)을 적용하여 총 5개의 윈도우에 대해 바이코히어런스를 계산하였다. 이는 어느 시간대에서 긍정/부정에 대해서 차이가 많이 발생하였는지를 알기 위한 것이다. 다른 시간창에 비해서 RT전 1.25 ~ 0.5초 사이에 차이를 보이는 구간이 많이 나타났다. 이는 이전의 분석결과인 시간-주파수 분석과 유사하였다.[6] 그러나, 긍정/부정을 구별하는 특징이 아주 짧은 시간에 나타나면 다른 뇌파에 가려져 잘 나타나지 않으므로 시간창을 줄여, RT 전 1.25초 ~ 0.5초의 뇌파 데이터에 0.375초의 윈도우를 적용하고, 50%의 오버랩을 적용하여 다시 계산하였다. 계산하여 얻어진 결과에 t-검정($p < 0.001$)을 하여 유의미한 주파수와 채널을 아래 table 1에 나타내었다.

1차 실험에서 얻어진 특징을 가지고 신경회로망으로 학습하여서, 1차 실험 데이터에 적용하여 긍정/부정에 대해서 분류하였다. 그 결과, 그림 2와 같이 각각의 윈도우에 따라서는 큰 변화가 없고, 약 73%의 분류결과를 보여주었다. 긍정보다는 부정에서 높은 분류결과를 보여주었고 T1(-1.25 ~ -0.875초), T2(-1.063 ~ -0.688초), T3(-0.825 ~ -0.5초)의 모든 윈도우를 적용할 때 잘못 판단한 확률이 약 20% 이내로 줄어들었으며, 분별할 수 없는 것이 증가하는 경향을 보였다. 이 특징을 사용하여 2차 실험 데이터에 적용하여 긍정/부정에 대해서 분류하였다. 그 결과, 그림 3과 같이 약 42%의 분류율을 보였다. 이는 우연의 확률보다도 떨어지는 결과이므로 2차 실험에 대해서는 맞지 않음을 알 수가 있다.

2차 실험에서 얻어진 특징으로 2차 실험 데이터에 적용한 결과를 그림 4에 나타내었다. 약 53%의 분류율을 보인다. 이 역시 우연의 확률

보다 약간 높지만 2차 실험으로 얻어진 특징을 긍정/부정 특징으로 보기는 어렵다.

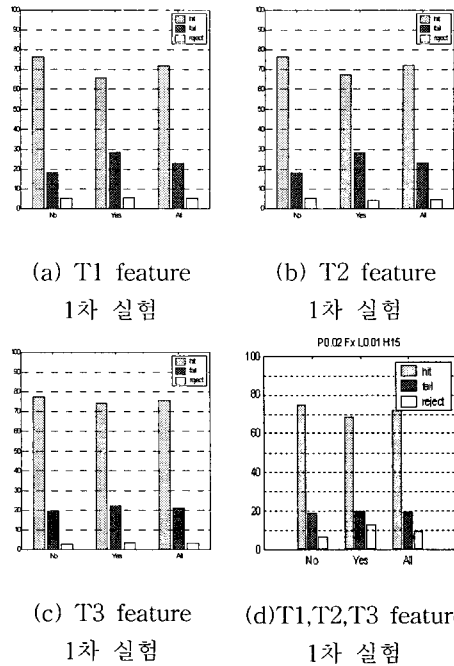


Figure 2. 1차 실험 특징을 이용한 1차 실험 뇌파 데이터 분류결과

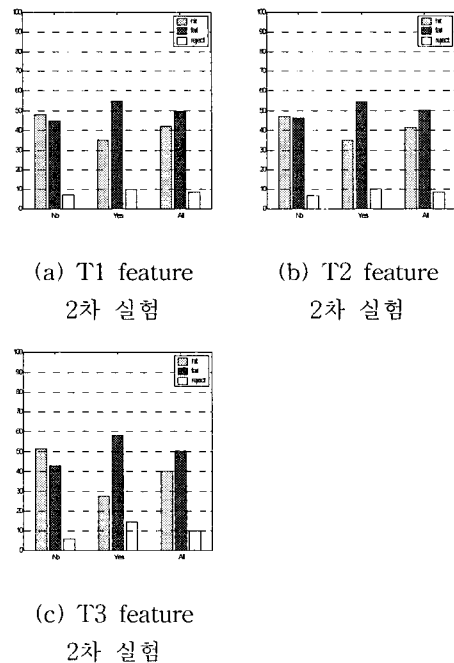


Figure 3. 1차 실험 특징을 이용한 2차 실험 뇌파 데이터 분류결과

Table 1. 각각 시간창에서의 유의미한 채널과 주파수

	Fp1	Fp2	F3	F4	Fz	C3	C4	Cz
Fp1				96-88 20-92	80-24 84-88		80-24	
Fp2	32-24		36-32	24-40	76-20	36-16		
F3								48-80
F4	32-76 28-68			36-96 84-88	92-48		48-92 96-36	
Fz		48-20				24-52	20-88	
C3		32-36				36-72	32-92	72-36
C4	20-20 92-36 20-72	72-88	72-88		20-20 72-88	20-20 84-76 72-88	20-72	20-20 68-36 36-52 72-88
Cz		48-20	88-80				56-92 76-40	

(a) -1.25 ~ 0.875초(T1) 결과

	Fp1	Fp2	F3	F4	Fz	C3	C4	Cz
Fp1	24-88		44-44				88-48	44-44
Fp2				68-40				44-84
F3	24-88	24-24	40-96	32-84	24-72 92-72		96-52	
F4			20-52					
Fz			16-68					16-68
C3	32-92 88-68	32-92 72-36	32-92		80-84	16-32	32-16 52-76	
C4	80-24		52-36	52-36	52-36		36-52	
Cz	36-96	80-52	52-20	20-28		36-20 36-96	80-52	

(b) -1.063 ~ -0.688초(T2) 결과

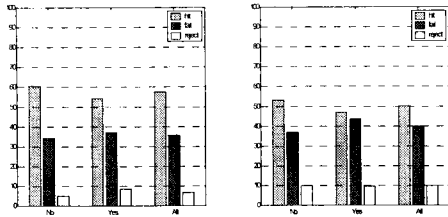
	Fp1	Fp2	F3	F4	Fz	C3	C4	Cz
Fp1		32-84		72-44	80-44	72-44	80-44	
Fp2	20-72							
F3			44-84		72-52	84-84	92-36	16-32
F4			80-88			28-20		44-52
Fz		92-92 80-84		80-44 88-52				
C3		88-72					68-96	
C4	68-72							88-52
Cz			32-80	76-48				

(c). -0.825 ~ -0.5초(T3) 결과

thin : 1차 실험

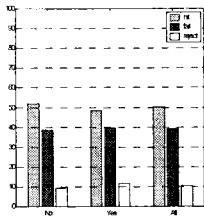
thick : 2차 실험

p < 0.001



(a) T1 feature
2차 실험

(b) T2 feature
2차 실험



(c) T3 feature
2차 실험

Figure 4. 2차 실험 특징을 이용한 2차 실험 뇌파 데이터 분류결과

2차 실험에서 얻어진 특징을 1차 실험 데이터에 대해 적용한 결과 약 37%정도의 아주 낮은 분별율을 보였다. 이는 우연의 확률보다도 아주 떨어지는 결과이다.

5. 결론 및 고찰

1차 실험에서 얻은 특징을 1차 실험 데이터에 적용하였을 때 가장 잘 분별(약 73%)되었으나, 2차 실험에 적용하여 분별할 때(약 42%)는 분별율이 낮았다. 이는 긍정/부정 판단을 할 때, 비선형적 위상커플링에 있어서 차이가 난다고 추정되지만 분별할 수 있는 특징은 아니라고 판단된다. 이는 신경회로망이 각각의 실험 데이터에 맞는 신경망을 구성하여 일반화되지 않았음을 의미한다.

긍정/부정 판단이라고 여겨지는 시간은 약 반응 전 1.25초에서 0.5초 사이에서 일어난다고 판단되며, 이 시간대에서 유의미한 차이는 존재하지만 구별되지는 않았다.

1차 실험에서 유의미한 값을 가지는 주파수와 부위가 2차 실험에서 나타나지 않았다. 이는 p값을 낮게 설정하여 공통된 특징을 보여주지 않고, 각 실험 데이터간 고유한 차이를 찾은 것

으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신 선도기반 기술개발사업 지원에 의해 이루어졌습니다.

6. 참고 문헌

- [1] B. Schack et al, "Phase-coupling of theta-gamma EEG rhythms during short-term memory processing", *Int J. Psychophysiology*, 44, 143-163, 2002
- [2] W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance : a review and analysis", *Brain Res. Rev.* 29, 169-195, 1999
- [3] G. Pfurtscheller et al, "On the existence of different types of central beta rhythms below 30Hz", *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 102, 316-325, 1997
- [4] T.Schanze, R. Eckhorn, "Phase correlation among rhythms present at different frequency: spectral methods, application to microelectrode recordings from visual cortex and functional implications", *Int J. Psychophysiology*, 26, 171-189, 1997
- [5] 남승훈 그 외, 『긍/부정 문답관련 뇌파에 대한 시간-주파수분석Ⅲ』, 한국감성과학회 춘계학술대회, 286-290, 2002
- [6] 남승훈 그 외, 『AR 모델을 이용한 긍/부정 과제 수행시 뇌파분석』, 한국감성과학회 추계학술대회, 250-254, 2002
- [7] 신승철 그 외, 『인지적 긍정/부정 선택과제 수행시 뇌파를 이용한 반응 시간의 감지』, 감성과학회 춘계학술대회, 278-285, 2002