

긍/부정 문답 관련 뇌파에 대한 시간-주파수 분석 III

남승훈, 류창수, 신승철, 임태규, 송윤선

한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소 인체정보처리팀

A Time-Frequency Analysis of the EEG for Yes/No response III

Seung-Hoon Nam, Chang-Su Ryu, Seung-Chul Shin,
Taegyul Yim, Yoonseon Song

Human Information Processing Team, Basic Research Laboratory, ETRI

요약

두뇌-컴퓨터 인터페이스(brain-computer interface)를 적용하기 위한 연구로서 주어진 문제에서 긍/부정을 선택할 때 나타나는 뇌파를 분별하기 위해서 시간-주파수 분석을 하였다. 단시간 푸리에 변환(short time fourier transform : STFT)을 하여 긍/부정 선택시 뇌파의 시간-주파수 변화량을 보고, 시간-주파수 분해능이 좋은 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 적용하여 서로 비교하였다. 두 가지 분석에서 공통된 결과는 주로 RT전 0.5초 주위에서 유의미한 결과를 나타내었고, 웨이블릿 분석에서 더 좁은 구간에 나타나며, 통계적으로 더 유의미한 결과를 나타내었다.

Keyword : BCI(brain-computer interface), Yes/No discrimination, EEG, time-frequency analysis, STFT, Wavelet

1. 서론

컴퓨터의 등장과 발달로 인간의 생활이 아주 편해지고, 과학과 기술이 발전하는 계기가 되었다. 이러한 컴퓨터의 발전에 있어서 컴퓨터와 인간을 연결하는 방법에 있어서 더욱 더 인간 친화적으로 발전하고 있다. 과거 명령어-키보드 환경에서 아이콘-마우스 환경으로 발전하고, 현재는 음성인식, 눈동자 움직임, 얼굴표정, 인간의 행동, 생리신호(뇌파, 피부전기전도) 등 다양한 분야에서 연구가 진행 중이다.[1]

이 중에서 뇌파를 이용한 컴퓨터 인터페이스는 사용자의 언어나 동작을 거치지 않고

의사를 반영하는 직접적인 방법으로 장애자를 위한 복지형 인터페이스와 새로운 개념의 인터페이스를 제공할 것이다. 이를 구현하기 위해서 뇌파에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 오른손, 왼손 동작의 차이를 구별하려는 연구, 인식(perception)과 비인식(no perception)의 차이를 구별하려는 연구, 정/부(GO/NOGO)에 관한 연구 등이 진행되고 있다.[2]~[5]

뇌기능의 연구에 많은 분석법들이 사용되고 있는데 시간영역의 분석으로 동기율, 상호상관계수 등이 있으며 주파수 영역의 분석

으로 푸리에 변환, AR model 등이 있으며 시간-주파수 분석으로 STFT, 위그너 분포 (Wigner distribution), 웨이블릿 변환 등이 있다.[6]~[8]

본 연구에서는 여러 부위에서 뇌파를 측정하여 시간-주파수 분석을 통해서 의미 있는 부위와 의미 있는 시간-주파수 대역을 밝히고자 하며, 이는 실시간으로 긍정/부정의 의사를 알아내어 BCI에 응용하고자 한다.

2. 실험 설계

뇌파의 측정은 신체 건강하고, 뇌질환을 앓지 않은 22명의 신체 건강한 남자들을 대상으로 국제 표준 규격인 10-20 시스템에 맞추어서 Fp1, Fp2, F3, F4, Fz, C3, C4, Cz의 8부위에서 측정하였다. 기준전극은 양쪽 귓볼을 사용하였고, 접지전극은 이마 한가운데로 사용하였다. 샘플링 주파수는 채널당 1024Hz로 하였고, 감마대역까지 보기 위해서 1 ~ 100Hz의 대역통과필터를 사용하였고, 60Hz의 전원잡음을 제거하기 위해서 60Hz의 대역저지필터를 사용하였다.

실험의 진행은 아래의 그림과 같이 진행되는 문항을 반복하였는데, 한 문항은 A, B, D, E 구간으로 나눌 수 있다. A구간("문제가 제시됩니다")-자극 전, B구간(문제)-자극 중, D("잠시만 기다리세요")-자극 후, E구간("잠시만 기다리세요")-자극 간으로 나누었다. 자극 중에 피검자가 반응한 시점을 반응시간 (reaction time : RT)으로 정의하였다. 이러한 진행을 크게 3가지 문제 유형으로 나누어서 실행하였다. 1 유형은 단어의 동일성 검증(6문항)이고, 2 유형은 단어의 유사성 검증(6문항)이고, 3 유형은 상식문제(12문항)이다.

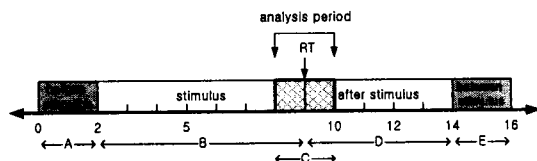


그림 1 . experimental paradigm

3. 데이터 분석

본 논문에서는 3가지 유형 중 BCI에 적합한 유형인 제 3유형인 상식문항에 대해서 분석하였다. 분석방법으로는 뇌파의 시간에 따른 주파수 변화량을 보기 위해서 STFT와 웨이블릿 변환을 적용하였다. 분석구간은 그림 1에서 볼 수 있듯이, C구간에 대해서 수행하였다. 이는 문제에 대한 응답을 하기 전 1초 이내에는 긍/부정을 판단할 것이라는 가정하에서 수행하였다.

a. 단시간 푸리에 변환

단시간 푸리에 변환은 윈도우의 크기에 따른 주파수 해상도가 결정되며, 이는 시간-주파수에 대한 정보를 제공하며, 아래와 같이 정의된다.

$$P_{sp}(t, w) = \int e^{-jw\tau} s(\tau) h(\tau - t) d\tau$$

$P_{sp}(t, w)$: time-frequency distribution

$h(t)$: window function

$s(t)$: source signal

윈도우는 0.375초의 한윈도우(Hanning window)를 사용하였고, 오버랩은 91.67%를 주었다. RT 전후의 1초 데이터에 있어서의 STFT의 결과를 P라고 하고, E구간인 자극간 데이터를 기준구간으로 하여 STFT를 하여 이를 평균하여 P_{ref} 로 하여 상대전력 (P/P_{ref})을 구하였다. 이는 정규화된 값으로 기준구간에 비해 크면 1보다 큰 값을 돌려주고, 적으면 1보다 작은 값을 돌려준다.

b. 웨이블릿 변환

시간-주파수의 해상도가 높고, non-stationary한 신호에 적합한 분석인 웨이블릿 변환을 하였고, 연속 웨이블릿 변환은 아래와 같이 정의된다.

$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

$\Psi(t)$: basic(mother) wavelet

$\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$: basis function(baby wavelet)

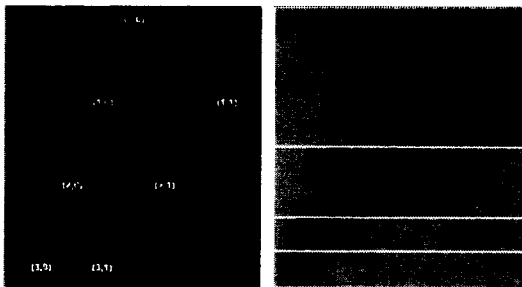
a : scale

τ : translation

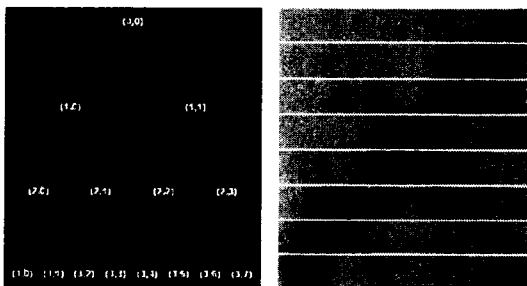
여기에서 a 는 주파수에 해당하고, τ 는 시간에 해당된다. 연속 웨이블릿 변환에서 $a=2^{-m}$, $\tau=2^{-m}k$ 를 대입하면, 이산 웨이블릿(discrete wavelet transform)을 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$DWT(m, n) = 2^{-m/2} \sum_k s(k) \Psi(2^{-m}k - n)$$

웨이블릿 패킷 분석(wavelet packet analysis)은 이산 웨이블릿 변환보다 더 좋은 해상도를 제공함으로써 이를 선택하였다. 그림 2는 chirp 신호에 있어서 이산 웨이블릿 변환과 웨이블릿 패킷을 비교하였다.



(a) 이산 웨이블릿



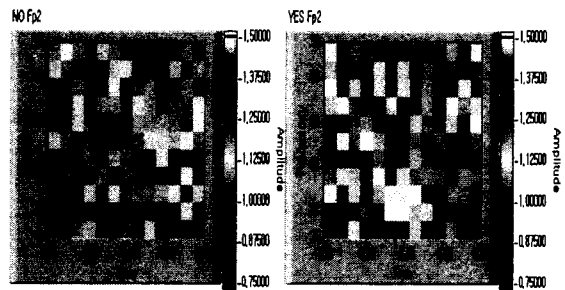
(b) 웨이블릿 패킷

그림 2. 이산 웨이블릿과 웨이블릿 패킷

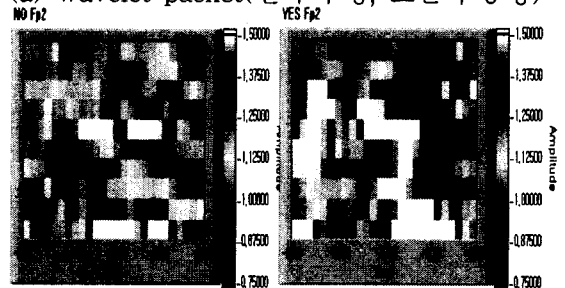
분석 구간은 STFT와 동일하게 적용하였다. 사용된 basis 함수는 db8(daubechies 8)을 사용하였고, 웨이블릿 패킷으로 6레벨까지 하였다.

4. 결과

긍정선택과 부정선택을 구별하기 위해서 전체 8 채널에 대해서 STFT와 웨이블릿 패킷에 대한 상대전력을 구하였다. 그림 3은 Fp2 채널에서의 STFT와 웨이블릿 패킷에 대한 결과를 보여준다. 얻어진 결과에서 긍정 선택과 부정 선택에 대해서 t-test를 수행하였다. 그림 4는 STFT의 결과와 웨이블릿 패킷에 대한 t-test 결과에서 서로 유의미한 결과($p < 0.05$: *, $p < 0.01$: **)를 내면서 중첩되는 부분을 표시하였다.



(a) wavelet packet(왼쪽:부정, 오른쪽:긍정)



(b) STFT(왼쪽:부정, 오른쪽:긍정)

그림 3. Fp2에 영역에서의 웨이블릿과 STFT의 결과

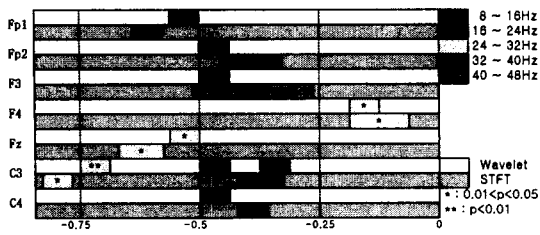
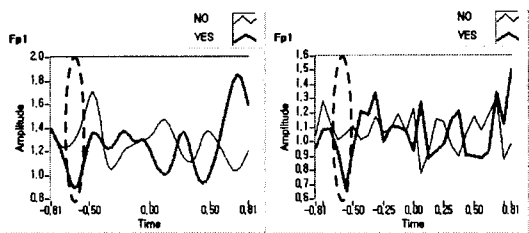
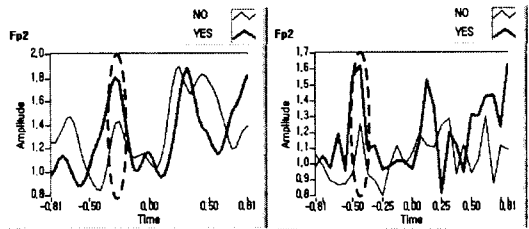


그림 4. t-test results

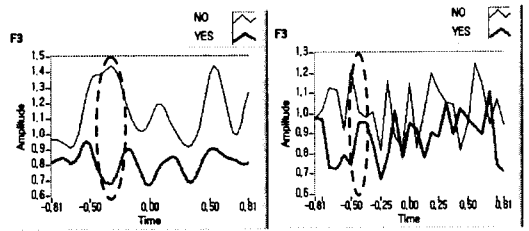
대뇌에서 운동영역(motor area)을 담당하는 부위인 C3와 C4의 두정엽에서 뮤(mu)에 해당하는 주파수 대역에서 차이가 남을 확인할 수 있었다. p값이 0.01이하인 구간은 주로 RT전 0.5초 주위에 편중되며, Cz와 F4를 제외한 모든 구간에서 유의미하게 나타났다. STFT에 비해서 웨이블릿 패킷의 결과에서 더 큰 유의미한 결과를 가지며 더 작은 시간 윈도우를 가짐을 알 수 있다. 아래 그림 5는 이러한 유의미한 결과를 가지는 주파수에서의 시간에 따른 상대전력의 변화를 나타내었다.



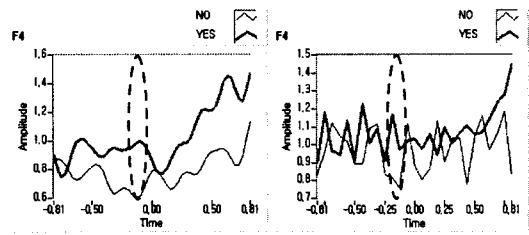
(32 ~ 40Hz) STFT wavelet packet



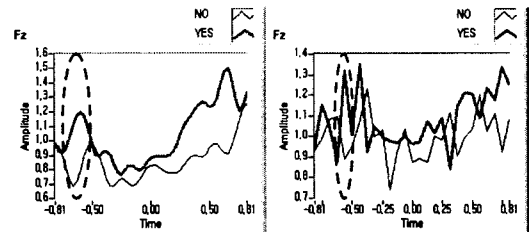
(16 ~ 24Hz) STFT wavelet packet



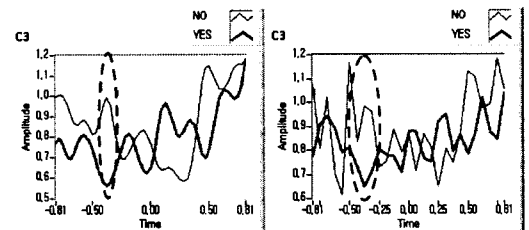
(40 ~ 48Hz) STFT wavelet packet



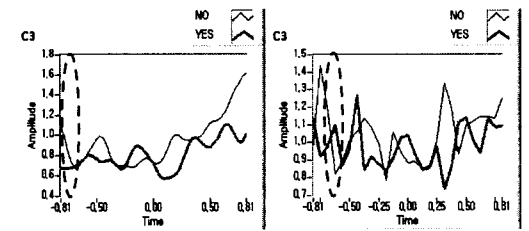
(24 ~ 32Hz) STFT wavelet packet



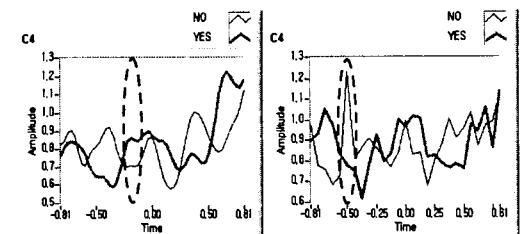
(24 ~ 32Hz) STFT wavelet packet



(8 ~ 16Hz) STFT wavelet packet



(24 ~ 32Hz) STFT wavelet packet



(8 ~ 12Hz) STFT wavelet packet

그림 5. 통계적으로 유의미한 결과를 보인 주파수대역에서의 STFT와 웨이블릿 패킷의 time course

5. 결론 및 고찰

긍정과 부정 선택시 뇌파의 변화를 알아내기 위하여 판단에 관계되는 전전두엽, 전두엽과 동작에 관계되는 두정엽에서 뇌파를 측정하고 뇌파의 시간에 대한 주파수의 변화를 살펴보았다.

시간-주파수를 분석하는 방법인 STFT와 웨이블릿 패킷 분석을 하였다. 이 두 분석에서 서로 상당부분 비슷한 결과를 내었다. 시간-주파수에 해상도가 높은 웨이블릿에서 더 좁은 구간에 대해서 통계적으로 더 유의미한 결과를 나타내었다.

STFT와 웨이블릿 패킷의 분석에서 서로 공통되게 유의미한 구간은 주로 0.5초 주위에 편중되는 경향으로 나타났다. off-line에서 0.5초 되는 부분의 데이터를 이용해서 긍정/부정을 구별할 수 가능성을 나타내었다.

이러한 결과는 뇌파 기반 컴퓨터 인터페이스 구현에 기초 연구 자료로 사용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] 류창수, 송윤선, 김민준, 신승철, 「뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 동향」, 한국전자통신연구원 주간기술동향, 2001, 1006호, 1-11.
- [2] G. Pfurtscheller, Ch. Neuper, D. Flotzinger, M. Pregenzer, "EEG-based discrimination between imagination of right and left hand movement", *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* v.103, 1997, 642-651.
- [3] J. M. Gerking, G. Pfurtscheller, H. Flyvbjerg, "Classification of movement-related EEG in a memorized

delay task experiment", *Clinical Neurophysiology* v.111, 2000, 1353-1365.

[4] E. Rodriguez, et al. "Perception's shadow : long-distance synchronization of human brain activity", *Nature*, v.397, 1999, 430-433.

[5] Tadahiko Shibata, et al. "Event-related dynamics of the gamma-band oscillation in the human brain : information processing during a GO/NOGO hand movement task", *Neuroscience Research* v.33, 1999, 215-222

[6] J. Muthuswamy, N. V. Thakor, "Spectral analysis methods for neurological signal", *Journal of Neuroscience Methods*, v.83, 1998, 1-14.

[7] I. G. Gurtubay, et al. "Gamma band activity in an auditory oddball paradigm studied with the wavelet transform", *Clinical Neurophysiology* v.112, 2001, 1219-1228

[8] R. Q. Quiroga, et al. "Wavelet Transform in the analysis of the frequency composition of evoked potentials", *Brain Research Protocols*, v.8, 16-24.