

논문 2003-12-6-08

인지적 정신과제 판정을 위한 EEG해석

김민수, 서희돈

EEG Analysis for Cognitive Mental Tasks Decision

Min-Soo Kim and Hee-Don Seo

요 약

본 논문에서는 정신적 과제수행 동안 EEG 뇌파의 정확한 분류방법에 관하여 기술한다. 피험자는 실험 task에서 시각적 자극에 대한 반응, 문제의 해석, 손동작 제어와 키 선택을 수행한다. 선택시간을 감지하기 위하여 측정된 뇌파로부터 α , β , θ , γ 를 분리하고 4가지의 특징들을 해석한다. 이 특징들을 분석하여 각 피험자별로 공통적인 특징들로 구성된 일반 규칙을 설정한다. 본 시스템의 신경망은 1개의 은닉층을 갖는 3층의 피드포워드 신경망 구조를 가지며 학습에는 역전파 학습 알고리즘을 이용하였다. 4명의 피험자를 대상으로 설정한 알고리즘들을 적용하여 평균 87% 분류 성공률을 보였다. 본 논문에서 제안한 방법은 인지적인 정신과제 판별을 위한 방법들과 결합하여 BCI 기술을 위한 기반 기술로 활용될 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose accurate classification method of an EEG signals during a mental tasks. In the experimental task, subjects achieved through the process of responding to visual stimulus, understanding the given problem, controlling hand motions, and select a key. To recognize the subjects' selection time, we analyzed with 4 types feature from the filtered brain waves at frequency bands of α , β , θ , γ waves. From the analysed features, we construct specific rules for each subject meta rules including common factors in all subjects. In this system, the architecture of the neural network is a three layered feedforward networks with one hidden layer which implements the error back propagation learning algorithm. Applying the algorithms to 4 subjects show 87% classification success rates. In this paper, the proposed detection method can be a basic technology for brain-computer-interface by combining with discrimination methods.

Key Words : Electroencephalogram, neural network, BCI(Brain Computer Interface)

1. 서 론

뇌파(electroencephalogram : EEG)는 인간의 정보처리 활동에 대한 정보를 내포하여, 인간의 의사를 컴퓨터가 인지하도록 하는 BCI (brain computer interface) 연구

에 응용되고 있다^[1]. 특히 의사를 표현하는 동작과 관련된 뇌파의 특성이 실험을 통해서 밝혀지고 있는데, 어떤 동작을 실행하려고 의도하거나 상상하는 것만으로도 특정 성분에 변화가 생기게 된다.

뇌가 가지고 있는 부위의 특성을 기능별로 파악하기 위한 동물실험^[2]이나 전신불구와 같은 심한 장애를 가진 환자들의 의사소통을 목적으로 하는 연구가 활발히 진행되고 있다^{[3],[4]}. 뇌의 특성과 기능을 파악하는 방법들로 는 뇌 전위를 측정하는 EEG, fMRI, MEG

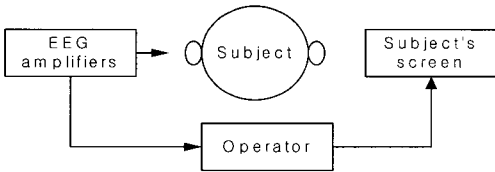
영남대학교 전기공학과
(Dept. of Electronic Eng. Yeungnam Univ.)
<접수일자 : 2002년 10월 5일>

와 방사선 동위원소를 이용하는 PET방법 등이 있으나, EEG를 이용한 측정법^[6]이 간단하면서도 손쉽게 적용할 수 있어서 현재 널리 사용되고 있다.

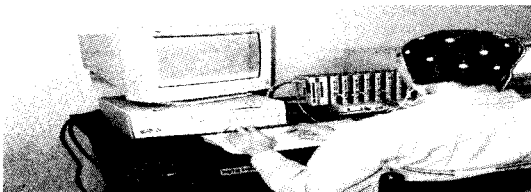
본 연구는 인간의 인지과정에서 일어나는 정신작용을 뇌파를 이용하여 해석한다. 화면에 제시되는 명령어에 따라서 키보드를 통해서 선택한다. 인지적 정신상태 일 때에 뇌파의 상태를 주파수영역으로 해석한다. 본 연구에서는 과거에 뇌에 이상이 없는 건강한 피험자를 대상으로 실험하였다. 인지상태 뇌파측정을 위한 실험과제는 3가지로 실시했고, 인지상태와 비교를 위해서 휴식상태 뇌파를 측정하여 실험했다. 본 연구에서는 BPF(band pass filter)를 통해서 알파(alpha), 베타(beta), 세타(theta) 와 감마(gamma)파 형태로 신호를 분석하여 정신상태판별에 이용했다. 제안한 방법을 기존의 정신상태 판단을 위한 방법들과 결합하여 사용할 경우 실시간으로 인지적 정신상태 판별을 수행하는 BCI 시스템^{[6][7][8][9]}을 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 뇌파 측정

2.1 뇌파 측정환경



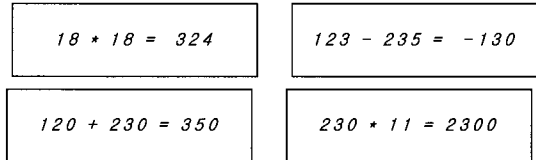
(a) 실험장치 계략도
(a) Block diagram of EEG



(b) 뇌파측정 사진
(b) Photograph of EEG measurement

그림 1. 뇌파측정
Fig. 1. EEG measurement.

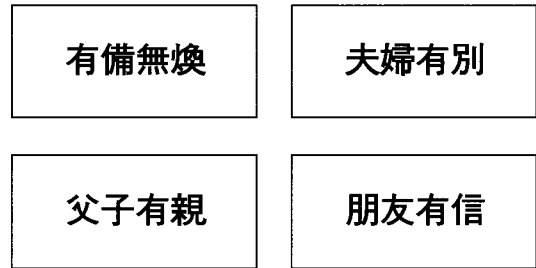
그림 1(a)은 실험에 필요한 구성도이며, 그림 1(b)는 뇌파측정 실험장면이다. 피험자는 컴퓨터 모니터에서 제시되는 문제에 의해 자극되고, 이 자극에 대해서 판단하여 키를 선택한다. 뇌파획득을 위한 시스템은 BIOPAC사의 EEG100B 증폭기와 캡전극을 통하여 데이터를 입력으로 받는다.



(a) Type 1



(b) Type 2



(c) Type 3

그림 2. TASK의 3가지 유형
Fig. 2. Three type of tasks.

피험자에게 제시되는 TASK는 3가지 유형으로 구성되어 있다. 유형 1에서는 수학의 사칙연산한 결과가 긍정인지 부정인지를 판단하는 문제들로 구성되어 있고, 유형 2에서는 색깔을 판단하는 문제를 다루었고 그리고 유형 3에서는 고사성어 한자들의 상호 관계가 맞는지 묻는 문제들로 구성되어 있다. 유형 1, 2 와 3의 예를 그림 2의 (a), (b) 와 (c)에서 나타내었다. 유형 1, 유형2 와 유형3은 각각 순서대로 10문제로 구성했다. 각 문제는 10

초 동안 피험자 화면에 제시되고 이 시간동안 피험자는 3가지 키(key)를 이용해서 선택한다. 선택된 결과가 맞는지 여부는 알 수가 없고 실험이 끝난 다음 알 수 있다.

피험자의 뇌파는 총 6개의 전극(Fp1, Fp2, C3, C4, O1, O2)을 통하여 측정한다. 전극은 국제 표준 규격인 10-20시스템을 이용하였고, 좌 우 귀를 기준(reference)전극으로 삼았다. 본 연구에서는 피험자의 정신적 사고와 관련된 뇌파를 관측하므로 전두엽 부분에 전극을 배치하여 부착한다.

두피에 부착한 전극을 통하여 전달되는 뇌파전위는 DAS를 통하여 250Hz로 샘플링 되어 실험자의 컴퓨터에 나타나고, 동시에 기억 장치에 저장된다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 10-20 시스템이다.

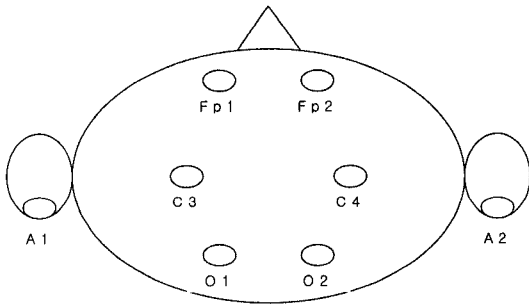


그림 3. 10-20 전극 배치법
Fig. 3. Ten-Twenty of electrode placement.

본 실험에서 TASK에 대한 실험과정은 모니터 명령어가 제시되기 전 과정을 visual process이며, 다음으로 명령어가 모니터화면을 통해서 제시되고 있을 때를 mental process이며, 다음으로 결정단계로 어떤 것을 선택하기 위한 과정을 action selection process라 한다. 마지막으로 키보드에 선택하는 과정을 거침으로 시간타이밍은 끝이 난다. 실험과정의 시간 타이밍도를 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며, 실험단계를 다음과 같이 상세하게 나타내었다.

1. 실험준비를 위한 preparation process 과정은 3초 동안이며, 음악이 나오면서 기다린다.
2. 준비시간이 지나면 피험자 모니터에 문제가 제시된다. 피험자는 10초 동안에 제시된 문제에 대해서 키를 선택한다.
3. 문제의 선택과 제시시간이 끝나면 다른 유형의 문제를 기다리는 시간 3초 동안 기다

린다.

1에서 3까지의 과정을 유형 1, 2, 3의 각각 10문항씩 수행한다.

실제 실험에서는 피험자에게 실험과제들에 대한 정보를 익숙하도록 정보를 제공한다.

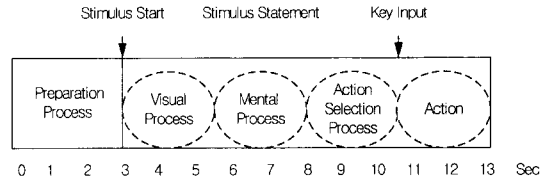


그림 4. 실험 타이밍도
Fig. 4. Time-chart of experimental.

2.2 특성 파형 추출과 전처리 과정

캡 전극을 통해서 획득한 뇌파 신호는 키를 선택하기 1초 전 상태를 기준으로 파형을 검출한다. 각 전극의 뇌파 신호는 표1의 주파대역통과 필터와 같이 알파파, 베타파, 세타파와 감마파 주파수대역으로 분류한다. 표 1은 본 연구에서 사용한 BPF로 주파수 대역에 따른 대역폭의 범위를 수치로 나타냈다.

그림 5 (a)의 Fp2는 피험자가 눈을 감고 있을 때와 눈을 뜨고 있을 때이며, 눈의 깜박임과 눈동자의 굴림등에 의해 발생하는 근안전도(EOG)와 호흡과 근육의 움직임 등에 의해서 유발되는 근전도(EMG)의 영향은 쉽게 관찰할 수 있다. 그리고 그림 (b), (c), (d)와 (e)는 각 주파수 대역으로 신호 처리한 결과이다.

표 1. BPF 주파수 대역
Table 1. BPF Frequency band

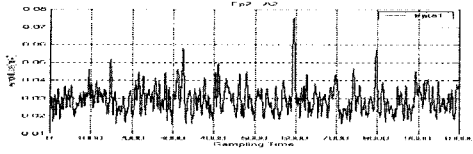
BPF	Alpha	Beta	Theta	Gamma
Hz	8~13Hz	14~30Hz	4~7Hz	31~50Hz

전극들로부터 뇌파신호들의 피쳐 벡터(feature vector)를 구성한다. $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ 피쳐의 종속값은 $\overline{X} = x_1, x_2, \dots, x_n$ 이며, 식 (1) J 클래스(class)[10]로 분류할 수 있다.

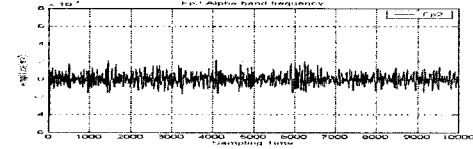
$$J(\overline{X}) = tr(S_w^{-1}S_b) \tag{1}$$

S_w 는 식 (2)와 같이 계산된다.

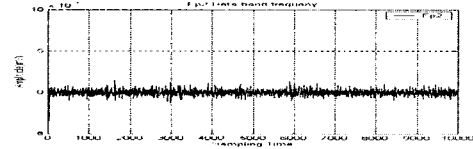
$$S_w = \sum_{i=1}^{classes} (\bar{X} - M_i)(\bar{X} - M_i)^T \quad (2)$$



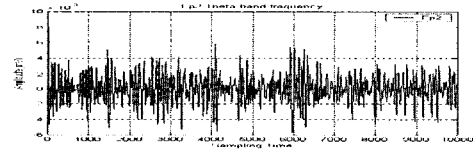
(a) Fp2 source signal



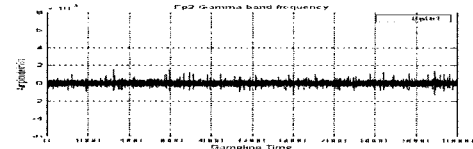
(b) Alpha band frequency



(c) Beta band frequency



(d) Theta band frequency



(e) Gamma band frequency

그림 5. 주파대역에 따른 파형

Fig. 5. Waveform according to band frequency.

클래스 분산 행렬에는 피쳐벡터 \bar{X} 는 분산되어 보이고 각 클래스는 벡터 M_i 로 식 (3)에 보였다.

$$S_b = \sum_{i=1}^{classes} (M_i - M_0)(M_i - M_0)^T \quad (3)$$

여기 $M_0 = E[\bar{X}]$ 는 혼합분산이 예상되는 벡터이고, $M_i = E[\bar{X}]$ 는 클래스 i 의 분산이 예상되는 벡터이다. 부분집합 \bar{X} 의 파라메타 n 의 수 결정은 단계적으로 진행하고 하나 하나로 연속해서 증가된다. 첫번째 피쳐 x_1 은 $x_n | J(x_n) = \max(J(x_n) |_{n=1}^n)$ 에서 선택되고 피쳐 x_n 는 가장 높게 분류 가능하다. 다음단계로 \bar{x}_2 는 합성 $J(\bar{X} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2])$ 는 남은 피쳐 $X/[x_1]$ 을 이용한 모든 가능한 합성에 의해서 다시 최소화된다.

2.3 제안시스템의 분류를 위한 신경망

BP 알고리즘⁽¹¹⁾을 이용한 다층 신경망의 학습절차는 다음과 같이 입력패턴 벡터 X , 은닉층의 출력 벡터 Z 와 출력 벡터 Y 를 다음과 같이 표현한다.

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n] \quad (4)$$

$$Z = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_p] \quad (5)$$

$$Y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_m] \quad (6)$$

입력층과 은닉층 간의 연결강도 v ($p \times n$), 은닉층과 출력층 간의 연결강도 w ($m \times p$) 매트릭스 형태로 식(7)과 같이 표현한다.

$$v = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{p1} & v_{p2} & \dots & v_{pn} \end{bmatrix}$$

$$w = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1p} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mp} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

학습시킬 s 개의 학습패턴 쌍 $(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_s, d_s)$ 의 수는 일정한 범위를 정하여 선정한 것과 최대치와 최소치를 정하여 실험의 결과로 얻어진다. 그리고 연결강도 v 와 w 는 임의의 작은 값으로 초기화하며, 적절한 학습률이 정해진다. 다음 식(8)과 (9)은 연결강도가 변경되는 형태의 식이다.

$$NET_z = XV^T, z = f(NET_z) \quad (8)$$

$$NET_y = ZW^T, y = (NET_y) \quad (9)$$

목표치 d 와 최종출력 y 를 비교하여 제곱오차 E 를 아래 식(10)과 같이 구했다.

$$E = \frac{1}{2}(d - y)^2 \quad (10)$$

그리고 식(11)은 출력층의 오차 신호 δ_y 를 구한 것이고, 식(12)은 은닉 층에서 전파되는 오차신호 δ_z 이다.

$$\delta_y = (d - y) y (1 - y) \quad (11)$$

$$\delta_z = f'(NET_z) \sum_{i=0}^m \delta_y w \quad (12)$$

다음은 k 학습 단계에서의 은닉층과 출력층 간의 연결강도 변화량 Δw^k 및 입력층과 은닉층 간의 연결강도 변화량 Δv^k 값을 구했다.

$$\Delta w^k = \alpha \delta_y z, \Delta v^k = \alpha \delta_z x \quad (13)$$

본 연구의 실험에서 사용된 신경망의 반복 학습횟수는 1만5천번 이상을 넘지 않도록 설계하였다.

그림 6은 본 논문에서 사용한 신경망의 구조이다.

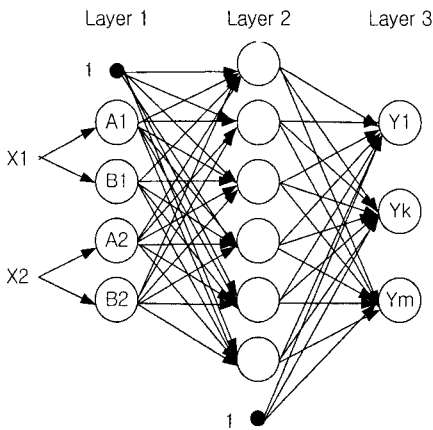


그림 6. 순방향 다층 신경망의 구성도
Fig. 6. Schema of feedforward multilayer neural network.

III. 실험결과 및 고찰

본 연구는 인지적 정신상태 판별을 위하여 4명의 피험자(대학생, 대학원생)에 대해서 3가지 TASK에 대한 실험을 하였다. 각 TASK마다 뇌파신호 획득, 분석 과 분류하는 실험을 하였다. 주파수대역은 α 파(8~13Hz), β 파(14~30Hz), θ 파(4~7Hz)와 γ 파(31~50Hz)를 기준으로 하였다. 실험에 검출된 뇌파는 피험자 모니터에 제시되는 TASK를 보고 판단하는 문제로 키 입력 1초 전 뇌파를 검출하여 정신상태를 분류하는데 사용했다. 검출한 뇌파를 분류하기 전에 하는 작업으로는 각 tasks 상태의 3종류의 뇌파의 통계값을 분석하고 퓨우리에 변환과 뇌파의 신호레벨 밀도를 분석한다. 다음과정으로 분류방법은 BP(back propagation) 신경망을 이용해서 분류하였다. 그림 7은 각 피험자에게 tasks가 제시되어 반응할 때의 시점을 나타낸 것으로서 C3 전극에서 신호를 검출하였으며, 각 TASK가 제시되는 순서는 수학연산, 색깔 판정 과 고사성어 순으로 진행했다. 그림 8은 C3 전극에서 검출한 뇌파를 이용해서 휴식상태, 각 과제에 대한 파형과 간질파를 시간영역으로 해석한 결과이다. 그림 9는 각 tasks에 대한 뇌파를 고속 퓨우리에 해석을 통한 주파수영역으로 해석한 결과이며, 휴식상태는 알파파가 발생하였고, 정신활동 수행시 베타파가 발생함으로써 간질파등과 쉽게 구분이 가능하였다. 그림10은 정신활동시 뇌파를 이용한 왼손/오른손 움직임의 차이를 구별하기 위해서 비교하기 위해 시간영역을 해석한 결과인데 그림 (a)는 key 선택시간이 5초인 경우이고, 그림 (b)는 선택시간이 6초였다. 그림 11은 왼손/오른손 움직임을 구별하기 위해 웨이블릿 분해법을 이용해서 레벨 D5의 주파수 영역해석을 통해서 왼손/오른손 움직임을 구별하였는데 전체적으로 주파수영역은 2~10Hz로 나타났으며, 진폭은 오른쪽 동작 시 크게 나타났다. 그림 12의 C3는 노이즈가 제거 된 상태의 스케일을 비교한 결과이며, 각 레벨에 대한 밀도차이를 확인할 수 있다. 표 2는 정신 과제 분류를 위한 각 TASK에 대한 통계값을 나타내고 있으며, 각 통계치는 약간의 차이점을 발견할 수 있다. 표3은 정신 TASK에 따른 피험자가 모니터 화면에서 제시되는 과제를 보고 응답한 결과치다. 실험결과 고사성어 문제에서 선택시간이 오래 걸렸고, 몇 개의 잘못된 답을 선택하였다.

그리고 그림 13은 각 task에 대한 뇌파의 분류 실험 한 결과이며, 막대 그래프를 이용해서 분류성능을 나타내고 있다. 본 그래프에서 4명의 피험자(subjects)을 통해서 실험한 결과 분류 성공률을 1/100을 기준으로 하였을 때에 평균 87%이상의 결과를 그림으로 확인할 수 있다. 각 실험의 결과 수학연산 과제와 색깔을 판단문제가 분류의 정확도가 다소 높음을 확인할 수 있었다.

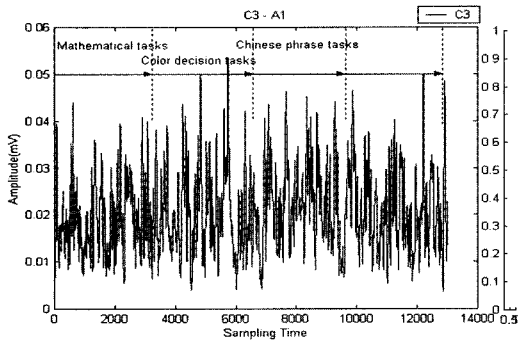
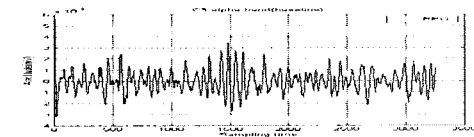


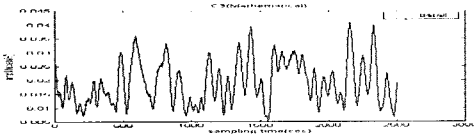
그림 7. task에 대한 EEG
Fig. 7. Analysis of EEG for tasks.

표 2. Tasks에 대한 통계값 비교
Table 2. Compare of statistics for tasks

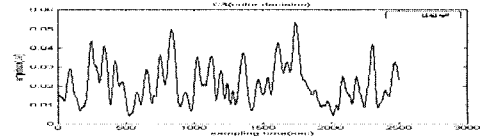
Tasks	Mathe-matical	Color	Chinese
Mean	0.01904	0.02095	0.02205
Max	0.04425	0.05341	0.04639
Min	0.005493	0.003967	0.004272
Median	0.0174	0.01953	0.02136
Standard devi.	0.007863	0.009723	0.008942
Medi. ab. dev.	0.005493	0.006714	0.006409
Mean ab. dev.	0.006449	0.007888	0.007203
Range	0.03876	0.04944	0.04211



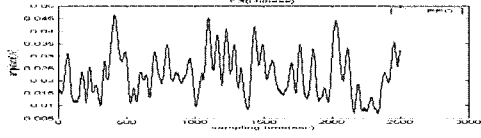
(a) Baseline



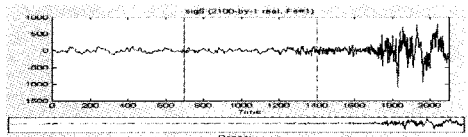
(b)



(c)



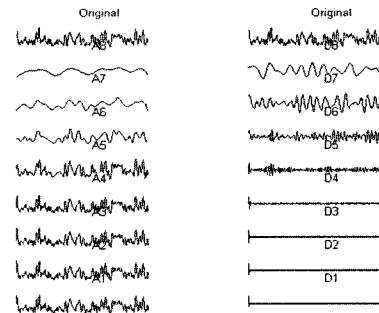
(d)



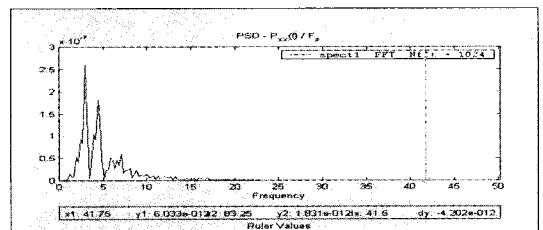
(e) Epilepsy seizure

그림 8. C3전극의 task 시간해석 과 간질파 비교

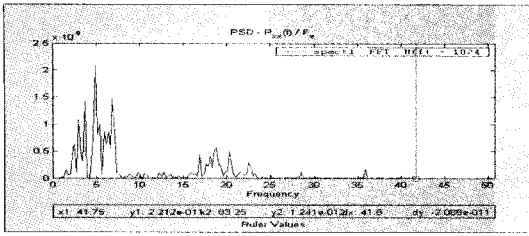
Fig. 8. Compare of epilepsy and tasks time analysis for c3 electrode.



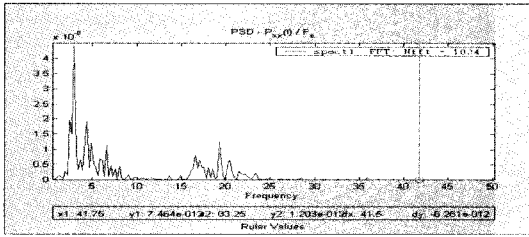
(a) Wavelet decomposition



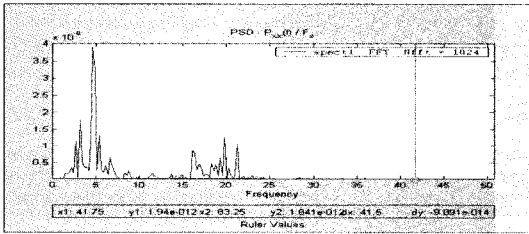
(b) baseline



(c) math. task



(d) color decision task.



(e) Chinese task

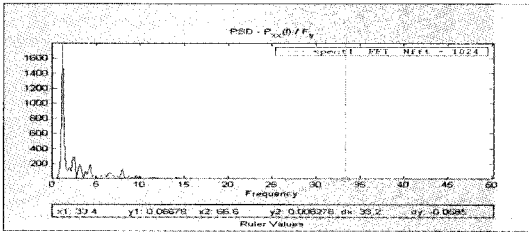
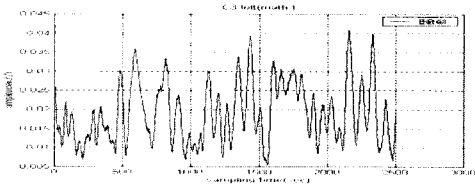
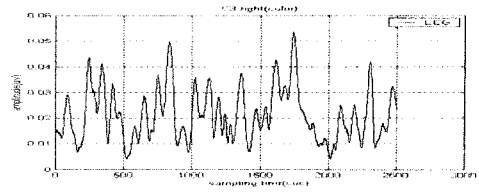


그림 9. 타스크 와 간질에 대한 FFT 해석
Fig. 9. Analysis of FFT for tasks and epilepsy.

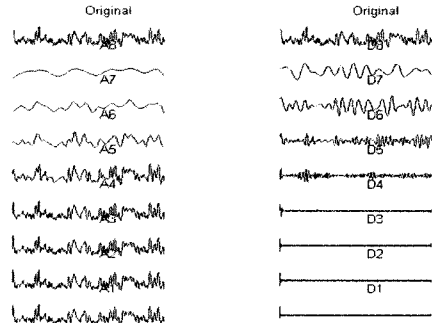


(a) left

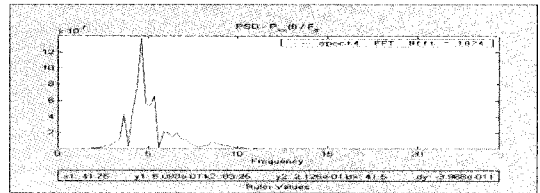


(b) right

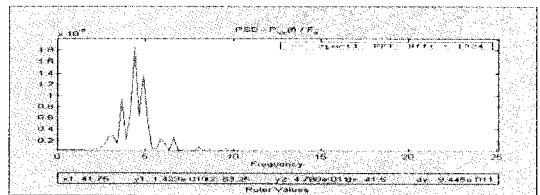
그림 10. 손의 움직임에 의한 뇌파비교
Fig. 10. Compare of EEG for hand move.



(a)

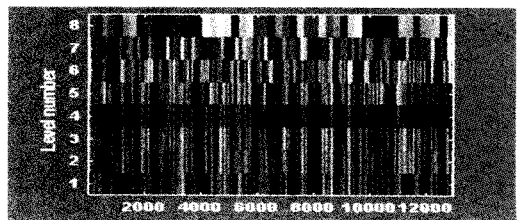


(b)

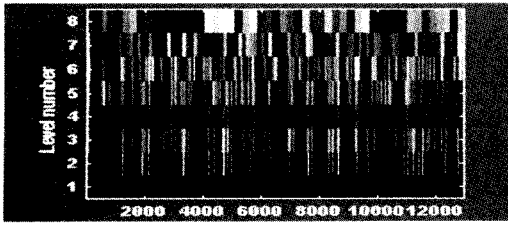


(c)

그림 11. 왼손/오른손의 주파수 비교
Fig. 11. Compare of left/right.



(a) c3 scale level.



(b) c3 denoised level.

그림 12. C3뇌파의 스케일 비교
Fig. 12. Compare scale of c3 EEG.

표 3. 정신 타스크에 대한 실험결과
Table 3. Result of experimental for mental tasks

Subjects	Input results	Test total/wrong	Key input	Time aver. (sec)
MS	Mathematical Tasks	10/0	Right	6.2
KY	Chinese Phrase Tasks	10/3	Left	7.3
YS	Mathematical Tasks	10/1	Right	6.0
SJ	Mathematical Tasks	10/1	Left	6.7

IV. 결론

본 논문에서는 피험자의 정신활동 시 뇌파의 특성을 규명하기 위해서, 휴식상태, 눈의 close, open 상태와 간질과 등의 뇌파를 비교

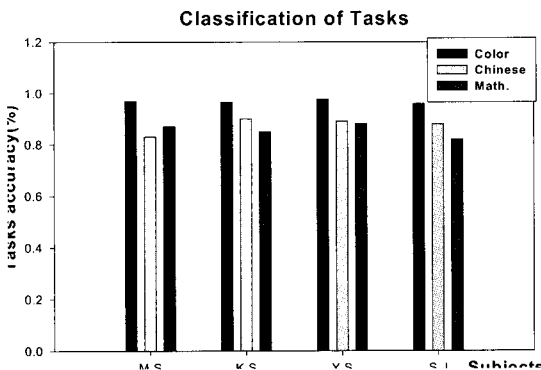


그림 13. 피험자들의 분류실험결과
Fig. 13. Result of experimental for subjects.

분석하였다. 정신활동 시 뇌파의 특성을 분석하기 위해서 피험자에게 정신과제를 모니터를 통해서 주어질 때 어떤 뇌파가 발생하는지를 분석하고자 했다. 그리고 각 피험자별로 나타나는 특징들의 상세 규칙을 설정하고 실험에 참가한 피험자에게 공통적으로 나타나는 특징들을 규칙으로 정한다.

뇌파를 이용한 신호해석법은 시간영역에서의 진폭특성 해석과 주파수 영역해석법으로 구분하여 해석하였다. 주파수 분석법은 시간에 따라 통계적인 성격이 변하지 않는 정상신호에 대해서는 우수한 특성을 지닌 퓨우리에 변환이지만 비정상적인 신호해석에서 단점을 지니고 있다. 그래서 웨이브렛 변환을 이용해서 신호의 대역을 고주파와 저주파 대역으로 나누어서 해석하였다. 뇌파신호가 포함되어있는 주파수대역인 D5레벨의 신호를 이용해서 뇌파의 특성을 비교 분석하였다. 분석결과 정신활동 시 뇌파는 주로 베타파가 많이 나왔고 휴식 상태일 때는 알파파가 검출되었으며, 쉽게 구분이 가능하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 여러 피험자의 많은 데이터의 분석 결과를 바탕으로 하고 있으며, 피험자의 인지적 정신상태 프로세스가 진행되는 과정을 파악하는 실험을 하였다. 따라서 피험자의 많은 데이터의 분석들은 피험자의 인지적 정신상태를 파악하는데 중요한 단서를 제공하였다. 이 결과들은 뇌파를 이용한 왼손/오른손 구별방법 또는 상상만으로 뇌파를 제어하는 방법들과 결합한다면 BCI 연구에 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 연구 결과들은 뇌파전문가들이 이용한다면 효율적으로 뇌파를 분석할 수 있을 것으로 생각이 된다. 앞으로 뇌파의 정확한 분석과 판단을 위해서 보다 나은 알고리즘들이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Jr. Wolpaw, N. Birbaumer D. J. Macfarland, G. pfurtscheller and T. Vaughan, "Brain-Computer Interface for communication and control", clinical Neurophysiology, 113, pp. 767-791, 2002.
[2] R. E. Isaacs, D. J. Weber, and A. B. Schwartz, "Work Toward Real-Time Control of a Cortical

- Neural Prothesis". IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, vol. 8, no. 2, pp. 196-198, 2000.
- [3] E. Donchin, K. M. Spencer, and R. Wijesinghe, "The mental Prothesis: Assessing the Speed of a P300-Based Brain-Computer Interface", IEEE trans. on Rehabilitation Engineering, vol. 8, no. 2, pp. 174-179, 2000.
- [4] P. R. Kennedy, R. R. E. Bakay, M. M. Moore, K. Adams, and J. Goldwithe, "DirectControl of a Computer Form the Human Central Nervous System", IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering, vol.8,no.3, pp. 198-202, 2000.
- [5] Hee-Don Seo and Min-Soo Kim, "Analysis of Sleeping EEG Stage Using Wavelet and Fourier," Proc. of the World Congress on
- [6] L. C. Parra, C. D. Spence, A. D. Gerson, "Respose Error Correction-A Demonstration of Improved Human Machine Performance Using Real Time EEG Monitoring". IEEE Tran. on Rehabilitation Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 173-177, 2003.
- [7] B. Obermaier, C. Neuper, C. Guger, "Information Transfer in a Five Classes Brain-Computer Interface", IEEE Tran. on Rehabilitation Engineering, vol. 9, no.3, pp. 283-288, 2001.
- [8] Min-Soo Kim and Hee-Do Seo, "Analysis of EEG Signals During Mental Tasks", Proc. of the 2003 international Conference on the Math. and Medicine and Biological," pp. 256-259, 2003.
- [9] Min-Soo Kim and Hee-Don Seo, "System for a Cognitive Analysis of EEG Based on Neural Networks," Proc. of the SICE Annual Conference, pp. 627-630, 2003.
- [10] K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, New York: Academic, 1990.
- [11] 오창석, 뉴로컴퓨터, 知成出版, pp. 199-205, 1996.

著 者 紹 介



김민수
1967년 2월 10일생
1994년 ~ 1996년 영남대학교 전기 공학과 석사졸업
1996년 ~ 1998년 (주) 효성 근무
2000년 ~ 현재 영남대학교

전자공학과 박사수료
주관심 분야 : 퍼지, 신경망, 생체신호처리
Medical Physics and Biomedical Engineering.", 2003.

서회돈

『센서학회지 제5권 제1호』 논문 95-5-1-07 p.43 참조

1946년 9월 25일생
1973년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1987년 일본 동북대학교 졸업(공학박사)
1973년 ~ 1980년 삼성전자
1987년 ~ 1992년 영남대 전자공학과 부교수
1992년 ~ 1994년 일본 토요하시 기술과학대학 부교수
1994년 ~ 현재 영남대 전자정보공학부 교수
주관심 분야 : 집적화 가속도센서, 압력센서, 복수 기계량 센서의 집적화 의공학(DNA칩, Bio-MEMS), 시각기술.