

인지적 긍정/부정 선택과제 수행 시 뇌파를 이용한 반응시간의 감지

신승철, 남승훈, 류창수 송윤선

한국전자통신연구원 반도체원천기술연구소 인체정보연구부

A Study on EEG-based RT Detection During a Yes/No Cognitive Decision Task

Seung-Chul Shin, Seung-Hoon Nam, Chang-Soo Ryu, Yoonseon Song

Human Information Department, Basic Research Laboratory ETRI

Abstract: 본 논문에서는 인지적 긍정/부정 선택 과제의 수행 시 뇌파를 이용하여 피험자의 반응 시간 RT를 감지하는 방법에 관하여 기술한다. 실험 Task에서 피험자는 시각적 자극에 대한 반응 문제의 해석, 손 움직임의 조절, 손동작 등과 같은 작업을 수행한다. 이와 같은 상황에서의 피험자의 정신상태의 변화를 모델링하고, 선택시간 ST를 감지하여 피험자의 반응시간 RT를 예측한다. ST를 감지하기 위하여 측정된 뇌파로부터 α , β , γ 파를 분리하고, 4쌍의 전극들로부터 3가지의 특징들을 추출한다. 추출한 특징들을 분석하여 각 피험자별로 나타나는 상세 규칙과 공통적인 특성인 일반 규칙들을 설정하고 이들을 적용한다. 4명의 피험자를 대상으로 평균 81%의 ST 감지 성공률을 보이고, ST 감지 이후 약 0.73초에서 RT가 나타나는 것을 보인다. 본 논문에서 제안한 방법을 기존의 인지적인 정신상태 판별을 위한 방법들이나 왼손/오른손 동작구분 방법들과 결합하여 사용할 경우 BCI를 위한 기반 기술로 활용될 것으로 기대한다.

Key Words: EEG, Mental Process, Selection Time, Response Time, Detection Rules

1. Introduction

EEG를 이용하여 뇌의 기능과 뇌 속에서 일어나는 정신작용의 과정을 규명하고자 하는 연구는 1997년 Kirkup 등에 의해 마인드 스위치[1]가 개발됨으로 인하여 많은 주목을 받게 되었다. 그리고, 현재까지도 세계 각처에서 이에 관한 연구가 진행되어 오고 있다. 인간의 감성과 이에 관련된 뇌 활동을 고찰하는 감성 과학 분야가 그 한 예이다. 이 분야에서는 주로 인간의 오감에 어떤 자극을 가했을 때 유발되는 뇌 활동을 규명한다[2]. 다른 한 방향은 EEG 바이오피드백(Biofeedback) 분야이다. 여기에서는 피검자의 뇌파를 피드백하여 보여줌

으로써 피검자의 각성 상태를 안정하게 한다거나 정신질환 환자들을 치료하는 방법, 특정한 뇌파의 유도를 통한 오락용 프로그램의 개발 등에 관한 연구를 진행하고 있다[3]. 또 다른 방향은 인간의 인지과정에서 일어나는 정신작용을 뇌파를 이용하여 해석해 보려는 시도이다. EEG 바이오피드백 분야에서는 주로 특정 영역에서의 뇌파의 변화를 이용하여 환자의 치료나 오락용 제품에의 응용을 위한 연구를 수행하지만, 이 분야에서는 주어진 실험 환경에서 인간의 뇌 속에서 일어나는 정신적인 프로세스를 밝히고자 하는 것이다. 참고 문헌 [4-8]에서 이와 같은 내용들을 찾아볼 수 있다.

기존의 논문들[4,5,6,7]에서의 공통점은 피험자의 반응시간(RT, Response Time)을 직간접으로 알고 있다고 가정한 것이다. 따라서, 이와 같은 방법들을 실시간 BCI(Brain Computer Interface)에서 이용하기 위해서는 반드시 RT를 알아야만 한다. 그러나, 피험자의

반응시간을 파악하는 것은 정신상태를 판별하는 것만큼이나 어렵고 복잡한 문제로 사료된다. 본 논문에서는 기존의 논문들에서 알려져 있다고 가정하고 있는 반응시간 RT를 감지하는 방법에 대하여 기술한다

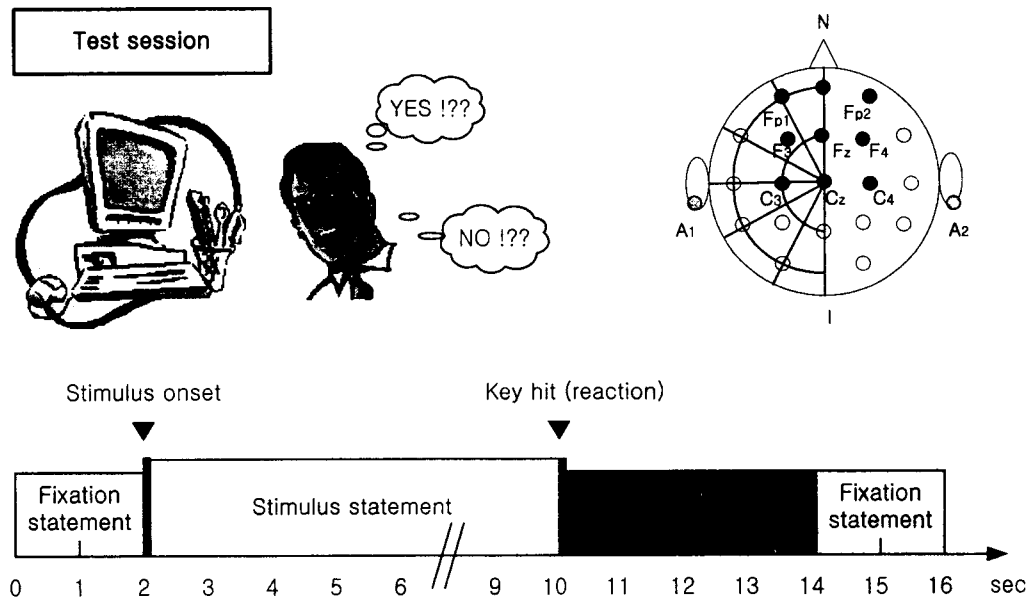


그림 1. 실험 Task

2. 뇌파의 측정 및 실험 프로토콜

본 논문에서의 뇌파 측정과 실험 자극에 대해서는 참고 문헌[8]에 자세하게 기술되어 있다. 피험자의 뇌파는 총 8개의 전극을 통하여 측정한다. 전극은 국제 표준 규격인 10-20 시스템에 맞추어 Fp1, Fp2, F3, F4, Fz, C3, C4, Cz의 위치에 부착하였다. 이마 가운데에 접지(Ground)를 위한 전극을 부착하였으며, 양 귓볼에 기준 전극을 각각 부착하였다. 전극의 각 위치는 그림 1의 오른쪽 위에 나타나있다. 본 실험에서는 주로 피험자의 정신적인 사고(思考)와 관련된 뇌파의 변화를 관측하고자 하므로 전두엽을 중심으로 전극들을 배치하여 부착한다. 두피에 부착한 전극을 통하여 전달되

는 뇌전위는 DAS를 통하여 128Hz로 샘플링된다. 뇌파에 혼합되는 전원 Noise를 제거하기 위하여 60Hz Notch 필터를 사용한다. 본 실험에서의 실험 Task는 그림 1에서처럼 다음과 같은 순서로 진행된다.

1. 실험 준비를 위한 Fixation statement I이 2초 동안 화면에 제시된다.
2. 2초 동안의 준비과정이 끝나면 피험자 화면에 문제가 제시된다. 피험자는 10초 동안에 YES, REJECT, NO에 해당하는 키를 눌러서 문제에 대한 반응을 한다.
3. 10초 동안의 문제제시가 끝나면, 자극(문제) 간의 구별을 위하여 Fixation statement II가 2초 동안 화면에 나타난다.
4. 1에서 3까지의 과정을 유형 1, 2, 3의 24

문항에 대하여 수행한다. 만약, 과정 2에서 피험자가 주어진 10초 이전에 반응을 하면, 키가 눌러진 순간을 RT로 기록하고 RT 이후부터 나머지 10초까지 시간에는 Fixation statement II가 제시된다. Fixation statement I에서는 ‘문제가 제시됩니다’라는 문장이 화면에 보이고, Fixation statement II에서는 ‘잠시 기다려 주십시오’라는 문장이 화면에 나타난다. 그림 1에서는 문제가 제시된 후 8초가 경과했을 때 피험자가 YES 또는 NO에 해당하는 키를 선택한 경우를 보인다.

실험 Task에 있어서 준비 과정(Fixation statement I) 2초 후의 피험자의 상황을 살펴보면 우선, 컴퓨터 모니터를 통하여 문제가 제시되므로 피험자는 시각자극(Visual stimulus)을 받게 된다. 그리고, 이 시각자극이 지속되면서 문제의 내용을 파악하고, 동시에 혹은 이후에 문제의 답을 찾기 위한 인지적인 정신작용이 뒤 따를 것이다. 문제의 답을 결정한 후에는 해당하는 키를 정확하게 누르기 위한 뇌활동이 활성화 되고, 이러한 뇌활동으로 손 움직임

임을 조절하여 키를 누르는 손 동작으로 이어질 것이다. 이와 같은 뇌활동 즉, 정신상태의 변화하는 과정을 추정하여 그림 2에서 보인다. 본 논문에서는 그림 2에서와 같은 과정이 복합적으로 피험자의 뇌 속에서 일어날 것이라는 가정을 한다. 시각자극에 반응하는 동안의 시간을 CT(Cut Time)로 정의하고, 피험자가 문제를 해석하고 판단을 내리는 시간구간, 즉 정신적 프로세스(Mental process) 과정의 마지막 시점 부근을 선택시간 ST로 정의한다. 그리고, 이러한 정신적 프로세스 과정이 반복되는 시간을 RP(Repeated Period)로 정의한다.

인간이 자극에 반응하는 시간은 개인에 따라 약간의 차이가 있으나, 거의 일정하게 나타난다는 것이 알려져 있다[9]. 따라서, 선택시간 ST를 감지한다면 이 시간 이후 수 초 내에서 RT가 일어날 것임을 예측할 수 있다. 이와 같이 어떤 반응을 하기 전에 인간의 생각을 미리 컴퓨터에 전달함으로써 BCI에 활용할 수 있게 된다.

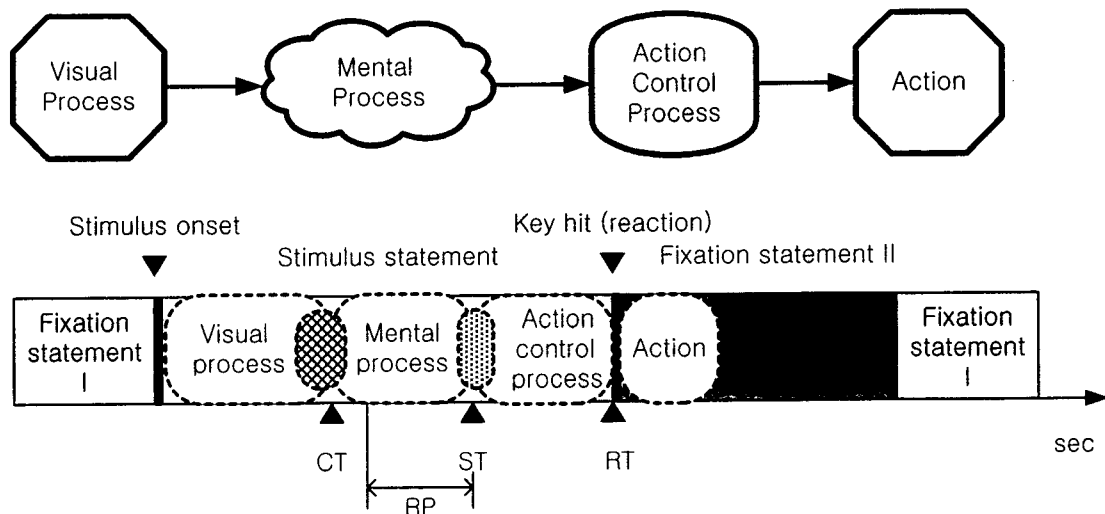


그림 2. Task 수행 시 피험자의 정신상태의 변화 추정

3. ST 감지를 위한 특징추출

본 논문에서는 좌우 뇌의 활동을 관찰하기 위하여 부착한 8개 전극의 공간적인 위치를 고려하여 (Fp1, Fp2), (F3, F4), (C3, C4), (Fz, Cz)와 같은 전극 쌍들을 구성한다. 특징 추출 과정에서는 뇌파 신호를 절단(Truncation)하기 위하여 $W_s=0.5$ 초(128 샘플) 크기의 Hamming 윈도우를 사용하고, 0.125초마다 윈도우 크기 75%의 오버랩($O_s=0.75W_s$)으로 윈도우를 이동시켜 뇌파 신호를 받아 들인다. 4개의 대역통과 필터(BPF)들로부터 각각 α (slow-beta), β_s (fast-beta) 및 γ (gamma) 주파수 영역에 해당되는 뇌파 신호를 걸러낸다. BPF를 통과한 신호들은 RPOW, SYNC, CORR 계산 모듈로 입력된다. 이 계산 모듈에서는 최종 특징들인 각 주파수별 상대전력(Relative power), 동기율(Synchronization rate), 상관관계(Cross-correlation) 값들을 계산하여 출력한다. 임의의 한 전극 쌍에서 측정된 뇌파를 (x_r, y_r) 로 두자. 그리고, x_r 과 y_r 이 하나의 BPF를 거쳐서 나온 신호를 x, y 라고 두자. 그러면, 해당 주파수 대역에서의 상대전력, 동기율, 상관관계 값들은 다음과 같이 계산된다.

Relative Power (Asymmetry Ratio):

$$P_{xy} = \frac{P_x - P_y}{P_x + P_y}$$

여기에서 $P_x = \sum_{n=1}^N |x_n|^2$, $P_y = \sum_{n=1}^N |y_n|^2$ 이다. N 은 설정한 윈도우 크기 W_s 내에서의 샘플의 개수를 나타내고, x_n 과 y_n 은 각각 x 와 y 의 n 번째의 원소를 가리킨다. P_a, P_s, P_f, P_r 은 각각 $\alpha, \beta_s, \beta_f, \gamma$ 대역에서의 P_{xy} 값을 나타낸다.

Synchronization Rate:

$$S_{xy} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^L \eta(W_i^{xy}) - 1$$

여기서 $\eta(W_i^{xy})$ 는 W_i^{xy} 시간구간 내에서의 샘플의 개수를 나타낸다. W_i^{xy} 는 두 신호에서 기울기의 부호가 일치되는 i -번째 구간을 나타낸다.

Cross-Correlation:

$$C_{xy} = \frac{1}{\|x\| \cdot \|y\|} \sum_{n=1}^N x_n y_n$$

P_{xy} 와 S_{xy} 의 경우에서와 같이 각 주파수 대역에 대하여 C_a, C_s, C_f, C_r 과 같이 표기한다.

4. 선택시간 ST 감지 규칙들

정신적인 프로세스 과정이 끝나는 시점인 선택시간 ST를 감지하기 위하여 ‘피험자의 선택시간 ST는 반응시간 RT 이전 약 2초 내에서 발생한다’는 가정을 한다. 피험자마다 약간의 차이가 있을 것이나, 긍정/부정에 대한 판단이 끝난 후에 손으로 키를 누르는 동작은 대략 2초 이내에서 이루어진다고 가정하는 것이다. 이와 같은 가정 하에서 선택시간 ST를 감지하기 위하여 3장에서 추출한 특징들로부터 각 피험자별 규칙 그룹(Rule group) A, B, C, D를 정의한다.

RULE GROUP A: 이 규칙 그룹에서는 각 특징들의 크기에 대한 제약을 규정한다. 임의의 특징 계산 모듈(RPOW, SYNC, CORR)에서의 출력 신호들을 F_a, F_s, F_f, F_r 과 같이 두면, 이들의 크기는 다음과 같은 파라미터 값으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} a_{11} &\leq F_a \leq a_{12} \\ a_{21} &\leq F_s \leq a_{22} \\ a_{31} &\leq F_f \leq a_{32} \\ a_{41} &\leq F_r \leq a_{42} \end{aligned}$$

상수 a_{ij} 는 $-1 \leq a_{ij} \leq 1$, $i=1, 2, 3, 4$, $j=1, 2$ 의 조건을 만족하는 값으로 설정된다.

RULE GROUP B: 여기에서는 각 특징들의 순
간적인 변화폭에 대한 규칙들을 정의한다.

$$\begin{aligned} dF_a &\leq b_1 \\ dF_s &\leq b_2 \\ dF_f &\leq b_3 \\ dF_r &\leq b_4 \end{aligned}$$

여기에서 $dF_x = |F_x(k) - F_x(k-1)|$, $x \in \{a, s, f, r\}$ 이
고, k 는 Windowing에 관한 인덱스를 나타낸다.
그리고, 파라미터 b_i 는 $0 \leq b_i \leq 2$, $i=1, 2, 3, 4$ 을
만족한다.

RULE GROUP C: 서로 다른 두 특징들 사이의
변화추이에 대한 규칙들을 정의한다.

$$\begin{aligned} c_{12} &\leq M_{as}(c_{11}) \leq c_{13} \\ c_{22} &\leq M_{af}(c_{21}) \leq c_{23} \\ c_{32} &\leq M_{ar}(c_{31}) \leq c_{33} \\ c_{42} &\leq M_{sf}(c_{41}) \leq c_{43} \\ c_{52} &\leq M_{sr}(c_{51}) \leq c_{53} \\ c_{62} &\leq M_{fr}(c_{61}) \leq c_{63} \end{aligned}$$

$$\text{여기에서 } M_{xy}(c_{n1}) = \frac{1}{c_{n1}} \sum_{i=0}^{c_{n1}-1} |F_x(k-i) - F_y(k-i)|,$$

$x, y \in \{a, s, f, r\}$, $x \neq y$ 이고, c_{n1} , $n=1, 2, \Lambda, 6$ 은
0 또는 자연수로 설정되는 값으로서 두 특징들
사이에서 일정한 유형이 지속되는 구간을 지정
한다. $0 \leq c_{nj} \leq 2$, $n=1, \Lambda, 6$, $j=2, 3$ 의 조건을 만
족한다.

RULE GROUP D: 서로 다른 두 특징들 사이의
대소 및 변화추이에 대한 규칙을 정의한다.

$$\begin{aligned} (d_{11} * (F_a - F_s) > 0) \oplus (d_{12} \leq M_{as}(1) \leq d_{13}) \\ (d_{21} * (F_a - F_f) > 0) \oplus (d_{22} \leq M_{af}(1) \leq d_{23}) \\ (d_{31} * (F_a - F_r) > 0) \oplus (d_{32} \leq M_{ar}(1) \leq d_{33}) \\ (d_{41} * (F_s - F_f) > 0) \oplus (d_{42} \leq M_{sf}(1) \leq d_{43}) \\ (d_{51} * (F_s - F_r) > 0) \oplus (d_{52} \leq M_{sr}(1) \leq d_{53}) \\ (d_{61} * (F_f - F_r) > 0) \oplus (d_{62} \leq M_{fr}(1) \leq d_{63}) \end{aligned}$$

여기에서 $M_{xy}(1) = M_{xy}(c_{n1}=1)$ 이고, \oplus 는 OR
논리를 나타낸다. 파라미터 d_{nj} 는 $0 \leq d_{nj} \leq 2$,
의 조건을 만족한다. 두 특징 사이의 대소관계
는 $d_{n1} = \pm 1$, $n=1, \Lambda, 6$ 의 부호에 의하여 결정된

다. 만약, d_{11} 의 값이 +1로 설정된다면,
 $F_a \geq F_s$ 와 같이 되어 F_a 가 F_s 보다 크게 나타
나는 구간이 포함되는 것을 알 수 있다. 이와
같은 규칙 그룹에서의 파라미터 값들로부터 각
피험자별 상세 규칙을 구성한다.

실험으로부터 얻은 뇌파를 분석해 보면,
대부분의 피험자 데이터에서 YES/NO 키를 누
르기까지 수 초의 시간이 소요되었음을 알 수
있다. 이와 같은 현상은 피험자가 제시된 문제
를 읽고 문제의 내용을 해석하는 데 시간이 필
요했던 것으로 파악된다. 본 논문에서는 그림
2에서와 같이 이 시간을 CT(Cut Time)로 정
의하고, CT 이후에 정신작용 프로세스(Mental
process) 과정이 진행되고, 이 프로세스의 마
지막 부근에서 ST가 나타난다고 간주한다. 그
러나, 실제로 각 프로세스가 끝나는 시점을 정
확하게 정의할 수 없고 피험자마다 또 문제의
난이도에 따라 각기 약간의 차이가 있으므로,
CT, ST, RT의 시간들은 어떤 구간 내에 존재
한다고 보는 것이 타당하다고 생각한다. 본 연
구에서는 2~3초 정도로 CT를 설정하였다.

피험자의 실험 데이터를 여러 번 분석한
결과, 반응시간 RT 이전 수 초 내에서 피험자
별 상세 규칙을 만족하는 패턴이 일정기간 동
안 나타나는 것을 관측할 수 있었다. 본 논문
에서는 이 구간을 그림 2에서 보이는 바와 같
이 RP(Repeated Period)로 정의하고, 피험자
가 문제를 시각자극으로 받아들여 내용에 대한
해석을 끝낸 후에 참인지 거짓인지를 판단하는
데에만 걸린 시간으로 간주한다. RP 값 또한
피험자별, 문제별로 각각 달리 설정하는 것이
타당하겠으나, 이 값들을 정확하게 알 수 없으
므로 본 논문에서는 경험적으로 얻은 값인
RP=0.75초(6 샘플)로 설정한다. 따라서, 그림
2에서와 같이 일정한 패턴이 RP 동안 지속된
시점이 피험자의 선택시간 ST가 된다.

표 1. 피험자별 평균 감지 성공률(P_D) 및 RT까지의 예상 시간(T_{RS})*

Subject	CT	P_D (Y)	P_D (N)	P_D (Ave)	T_{RS} (Y)	T_{RS} (N)	T_{RS} (Ave)	HD
LHH	2.5 sec	81.8	91.7	87.0	0.536	0.813	0.689	RH
PST	2.0 sec	83.3	83.3	83.3	0.723	0.847	0.785	RH
LWW	2.0 sec	77.8	72.7	75.0	0.722	0.717	0.719	RH
ODG	2.0 sec	83.3	77.8	81.0	0.667	0.862	0.747	RH
		81.6	81.4	81.5	0.662	0.810	0.735	

*: $T_{RS} = RT - ST$, Y: YES data, N: NO data, Ave: average, HD: hand, RH: right hand

5. 선택시간 ST 감지 결과

표 1에서는 각 피험자별로 YES를 선택한 경우와 NO를 선택한 경우의 데이터에 대하여 평균 감지 성공률(P_D)과 이때의 ST와 RT 사이의 평균 시간(T_{RS})을 나타낸다. 표 1에서 보면, 평균 ST 감지 성공률이 81.5% 정도임을 알 수 있고, 최대 91.7%, 최소 72.7%로 나타난 것을 볼 수 있다. 또한, ST가 감지된 후 평균 0.735초 이후에 RT가 나타난다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 실험에서는 NO 키를 왼손 검지 손가락으로 누르고, YES 키는 오른손 검지 손가락으로 눌러서 반응을 하도록 통제하였다. 그 결과 표 1에서 피험자 LHH와 PST 및 ODG의 결과를 보면, YES 반응(오른손)을 할 때의 시간이 NO 반응(왼손)을 할 때보다 약 0.1~0.3초 정도 작다는 것을 알 수 있다. 이러

한 결과는 타 논문들[9]에서도 나타나는 결과로서 오른손 잡이의 경우에는 오른손 반응이 왼손 반응보다 약간 빠르고, 왼손 잡이의 경우에는 상대적으로 왼손의 반응이 빠르게 나타난다는 것을 입증한다. 또한, 평균 ST 값 T_{RS} (Ave)을 보면, 피험자가 판단을 한 후에 키 입력이 감지되기까지는 피험자마다 약간씩 차이가 있으나 대략 0.6~0.8초 정도 걸린다는 것을 알 수 있다. 따라서, 선택시간 ST가 감지되면 약 0.6~0.8초 후에 RT가 나타날 것임을 예측할 수 있다.

본 장에서는 이상에서 설정한 각 피험자별 파라미터 값들이 얼마나 타당성이 있는가를 검증하기 위하여 피험자 LHH와 PST에 대하여 6개월 이상의 기간을 두고 같은 실험을 반복하였다. 표 2에서 그 결과를 보인다.

표 2. 파라미터 값들에 대한 범용성 검증

Subject	CT	P_D (Y)	P_D (N)	P_D (Ave)	T_{RS} (Y)	T_{RS} (N)	T_{RS} (Ave)	HD
LHH	2.5 sec	81.8	91.7	87.0	0.536	0.813	0.689	RH
LHHR	2.0 sec	78.6	70.0	75.0	0.767	0.757	0.763	RH
PST	2.0 sec	83.3	83.3	83.3	0.723	0.847	0.785	RH
PSTR	2.0 sec	23.1	72.7	45.8	0.804	1.076	1.002	RH

먼저, 피험자 LHH에 대한 실험 결과를 보자. 처음 실험에서는 YES 응답에 대해서는 왼손으

로 키를 누르고, NO 응답에 대해서는 오른손으로 키를 누르게 하였다. 재실험에서는 YES/NO의 위치를 임의로 나타나게 하여 피험자가 같은 응답에 대하여 좌우 손동작이 모두 나타나게 하였다. 이렇게 한 이유는 피험자의 주의를 좀더 유도하고, 나아가 왼손과 오른손 동작의 영향을 파악하기 위해서였다. 새로 획득한 데이터(LHHR)의 분석에서는 LHH 데이터에 대한 파라미터 값들을 그대로 적용하였다. 그러나, 예비실험을 통하여 분석한 결과, 피험자의 반응시간이 이전 실험에 비하여 좀더 빠르게 나타났으므로 CT를 2.5초에서 2.0초로 조정하였다. 이는 피험자가 같은 실험을 이전에 한번 해 보았기 때문에 문제에 답하는 시간이 처음보다 짧게 나타났을 것으로 판단한다.

분석 결과에서는 평균 75% 정도의 ST 감지 성공률을 보였다. 이 실험에서는 YES/NO 키의 위치가 임의로 주어지므로 양손에서 키를 누르는 속도는 크게 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다. (표 2에서 $T_{RS}(Y)$ 와 $T_{RS}(N)$ 을 비교하면 0.01초의 차이가 있음을 알 수 있다.) 이 결과에서 보면, CT 시간만을 약간 짧게 하고, 나머지 규칙들은 그대로 적용하여 75%의 감지 성공률을 보인다는 것은 설정한 파라미터 값들이 시간적인 요소와는 독립적으로 어느 정도 범용성을 가지고 있다고 생각된다. 또한 $T_{RS}(Ave)$ 의 평균값을 두 실험에서 비교해 보면, 재실험에서의 경우가 약 80msec 정도 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 재실험의 경우에는 문제의 답을 판단한 후에 YES와 NO에 대한 반응 버튼이 어느 쪽에 있는가를 확인하는 시간이 더 필요했던 것으로 판단된다.

피험자 PST의 재실험에서는 화면에 제시되는 문제에서 YES와 NO의 위치를 바꾸어 제시하였다. 따라서 피험자는 YES 응답에 대하여 오른손으로, NO 응답에 대해서는 왼손으로

반응하도록 하였다. PST 데이터에서의 파라미터 값을 그대로 재실험 데이터(PSTR)에 적용했을 때 나타난 결과이다. 여기에서 보면, NO 응답 데이터에 대해서는 72.7%의 감지 성공률이 나타나지만, YES 응답 데이터에 대해서는 좋지 못한 결과가 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 피험자 PST에 대하여 설정한 파라미터 값들이 좀더 수정 보완하여 최적화할 필요가 있음을 말해 준다.

7. Concluding Remarks

본 보고서에서는 피험자의 RT 시점을 예측하기 위하여 실험 Task에서 피험자에게 주어지는 자극과 정신상태를 추정하여 모델링하였다. 선택시간 ST를 감지하기 위하여 각 피험자별로 나타나는 특징들을 상세 규칙으로 설정하고, 실험에 참가한 피험자들 사이에서 공통적으로 나타나는 특징들을 Meta 규칙으로 설정하였다. 설정한 규칙들을 적용하여 분석한 결과로부터 평균 81%의 ST 감지 성공률을 얻었고, ST에서 RT까지의 시간은 평균적으로 0.73초 정도 걸린다는 사실을 밝혔다. 또한, 실험과정에서 나타난 왼손 잡이와 오른손 잡이의 차이를 확인하였으며, 재실험을 통하여 설정한 규칙들이 어느 정도 타당성을 보임을 입증하였다. 제안한 방법에서는 피험자의 인지적 정신 프로세스가 진행되는 과정을 파악하였다. 따라서, 이 결과를 이미 많은 결과가 보고된 왼손/오른손의 구별이나, 긍정/부정의 인지적 판단을 하는 방법들과 결합하여 사용할 경우 RT에 대한 정보 없이 왼손과 오른손의 구별이나 YES/NO 응답을 예측할 수 있게 된다. 이러한 연구 결과는 BCI 연구에서 기초 기술이 될 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신 선도기반기술개발사업 지원에 의해 이루어졌습니다.

References

- [1] L. Kirkup, A. Searle, and A. Craig, "EEG-based system for rapid on/off switching without prior learning", *Medical Biological Engineering Computing*, vol. 35, pp. 504-509, 1997.
- [2] 강동기, 김동준, 김홍환, 고한우, "뇌파를 이용한 4가지 감정 분류에 관한 연구", *한국감성과학회 추계학술대회논문집*, pp. 87-90, 2001.
- [3] O. Jafarova and M. Shtark, "Computer biofeedback: trends of development", *Proceedings of 4th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE-98*, vol. 1, pp. 162-164, 1998.
- [4] C. W. Anderson, E. A. Stolz, and S. Shamsunder, "Multivariate Autoregressive Models for Classification of Spontaneous Electroencephalographic Signals During Mental Tasks", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 45, No. 3, March 1998.
- [5] A. Schloegl, B. Schack, G. Florian, K. Lugger, M. Pregenzer, and G. Pfurtscheller, "Classification of single trial EEG: A comparison of different parameters", *TM, Graz University*, Austria, 1996.
- [6] G. Pfurtscheller, Ch. Neuper, D. Flotzinger, and M. Pregenzer, "EEG-based discrimination between imagination of right and left hand movement",

Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 103, pp. 642-651, 1997.

- [7] M. J. Kim, S. C. Shin, Y. S. Song, C. S. Ryu, "Yes/No Discrimination with Spatio-Temporal Characteristics of EEG", *Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Istanbul, Turkey, Oct. 25-28, 2001.
- [8] 신승철, "뇌파기반 휴먼-컴퓨터 인터페이스를 위한 인지적 정신상태의 분별", *대한전자공학회 하계종합학술대회논문집-V*, 24권, 1호, pp. 61-64, 2001.
- [9] 최지연, 이경화, 정희윤, 김기홍, 김현빈, 손진훈, "연령별 긍/부정 판단 과제시의 뇌파 특성", *한국감성과학회 추계학술대회논문집*, pp. 255-259, 2001.