

뇌파 기반 실시간 우울증 자동 분석 시스템

전창현*, 신동민*, 신동규*, 신동일*

*세종대학교 컴퓨터공학과

e-mail : iloveovo@gce.sejong.ac.kr

EEG-based Real-time Automated Analysis System Depression

Chang-Hyun Jeon*, Dong-Min Shin*, Dong-Kyoo Shin*, Dong-Il Shin*

*Dept of Computer Science, Sejong University

요 약

IT 기술과 의료 기술이 발전함에 따라 뇌파를 이용한 많은 연구들이 진행되고 있다. 컴퓨터로 사용자가 뇌파를 측정하고, 측정된 뇌파를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 고속 데이터 처리 알고리즘을 소개하고, 측정된 뇌파를 통하여 우울증을 진단할 수 있는 시스템을 구현하였다. 특히 실시간 뇌파지표 분석을 통하여 뇌파의 기본파형이 분류되고, 분류된 신호에서 개발된 알고리즘에 따라 주의/이완/집중/우울의 4가지 지표가 실시간으로 도출된다.

1. 서론

여러 방송매체에서 우울증 때문에 자살한 사람들의 이야기를 자주 접하곤 한다. 그만큼 우울증은 현대 사회에서 큰 문제이다. 국내에서도 우울증 환자는 점차적으로 늘어나는 추세이다. 국내 우울증 환자 수는 2005년 43만명이었던 환자수가 2011년 53만명으로 증가하였다[1].

IT 기술과 의료 기술이 발전함에 따라 뇌파를 이용한 많은 연구들이 국내외에서 활발히 연구되어지고 있다. 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface, 컴퓨터와 사람의 뇌를 연결해 기기를 제어하는 기술)나 뉴로피드백 시스템(Neuro Feedback system, 사람의 의지로 뇌파를 제어하는 시스템) 등이 대표적인 예이다.

뇌-컴퓨터 인터페이스를 이용한 대표적인 예는 전동 휠체어 Rolland III[6]와 재활 로봇 FRIEND II[7]이 있다. 두 장치 모두 비침습적인 방식으로 뇌파를 측정하고, 사용자가 이를 이용해 휠체어와 재활 로봇을 움직인다. 뉴로 피드백을 이용한 대표적인 사례로는 배리 스티먼이 1971년에 뉴로 피드백 훈련을 통하여 면역기능이 높아진다는 것을 확인하고 간질 환자를 치료한 사례가 있다[8].

본 논문에서는 사용자가 실시간으로 뇌파를 측정하고 분석하여, 우울증의 강도에 따라 치료를 받을 수 있는 시스템을 구현하였다.

2. 관련 연구

2.1 뇌파(Brain wave)

사람의 뇌세포에서는 독특하고 규칙적인 전기파가 나오는데 이것을 뇌파라고 한다. 1929년 독일의 정신과 의사인 한스 베르거가 처음으로 머리에 외상을 입은 환자의 두개골 피하에 2개의 백금 전극을 넣어 뇌파를 기록하였고 이

뇌파의 종류	주파수 대역	뇌파의 형태	뇌의 상태
Delta	0.5~4 Hz		숙면상태
Theta	4~7 Hz		졸리는 상태, 산만함, 백일몽 상태
Alpha	8~12 Hz		편안한 상태에서 외부 집중력이 느슨한 상태
SMR(Sensory Motor Rhythm)	12~15 Hz		움직이지 않는 상태에서 집중력을 유지
Beta	15~18 Hz		사고를 하며, 활동적인 상태에서 집중력 유지

를 뇌전도(EEG)라고 하였다.

뇌파는 개인차, 연령, 신체의 움직임 등에 따라 다르게 쉽게 변한다. 하지만 정상 성인의 뇌파는 90~100Hz의 α 파가 뇌파의 대부분을 차지하고 있다[2].

<그림 1> 뇌파의 주파수 대역별 특징

뇌파를 측정하는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 뇌파를 측정하는 목적에 따라 전극을 선택해서 사용하여야 하고, 부착부위도 다르게 하여야 한다. 부위나 전극이 잘못 선택되어 얻어지는 뇌파를 분석하게 된다면, 전혀 엉뚱한 결과를 얻게 될 수 있다. 따라서 정확한 분석을 위한 정확한 뇌파측정은 필수적이다. 뇌파를 분석하는 방법에는

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW 창의연구과정의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-(H0502-13-1072))

International 10-20 system을 일반적으로 사용하지만, 더 정밀한 측정을 위하여 MCN(Modified Combinatorial Nomenclature) 전극 배치법을 사용하기도 한다[3].

2.2 뇌파 추출

기록된 뇌파는 특성상 여러 대역의 주파수가 혼재되어 나타난다. 또한 뇌파는 여러가지 이유로 잡파가 섞여 나오게 된다. 이러한 data를 raw data라고 한다. Raw data로부터 사용자가 원하는 정보를 얻기 위해서 효과적으로 정제하기 위하여 3가지 주요한 신호처리 방법을 사용한다.

(1) 전처리 과정(Preprocessing) : 전처리 과정을 통하여 잡파를 제거하여 사용자가 필요한 정보를 분리해낸다. 전처리 방법으로는 ICA, Band Pass Filtering, Notch Filtering 등이 사용된다.

(2) 특징 추출(Feature Extraction) : 특징 추출 과정을 통하여 뇌파데이터를 변환하여 인식률을 높인다. 특징 추출 방법으로는 PCA, 파워 스펙트럼, 자기회귀모델이 있다.

(3) 분류(Classification) : 변환된 뇌파 데이터가 어떠한 집합에 속하는지 분류한다. 분류법으로는 Hidden Markov Model, Kalman Filter Model, Multi-layer Perceptron Algorithm 등이 있다.

2.3 FFT(Fast Fourier Transform) 분석법

뇌파를 주파수 대역별로 분리하기 위하여 FFT 분석법이 사용된다. FFT 분석법은 뇌파를 다른 진폭 및 주기를 갖는 여러 sine파나 cosine파로 구성되어 있으며 각각의 sine파 혹은 cosine파로 분리될 수 있다는 19세기 프랑스 수학자 푸리에의 이론에 의해 파형을 여러 개의 파로 분리해 내는 방법이다. 이 분석법을 이용하여 시간에 따라 변화하는 시계열 데이터를 주파수 영역으로 변환한다. 변환된 데이터를 이용하여 주파수를 성분별로 분류하고, 각 성분들의 밀도와 분포를 파악할 수 있다[4].

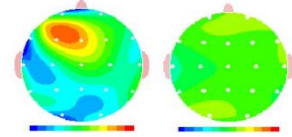
$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j2\pi kn/N} = H_n$$

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-2\pi kn/N} \dots (1)$$

2.2 우울증의 뇌파 특징

뇌파를 이용하여 여러가지 뇌질환이나 감정 이상을 찾을 수 있다. 같은 맥락으로 우울증 또한 뇌파를 이용하여 진단할 수 있다. 우울증의 뇌파는 좌 전두엽과 우 전두엽의 뇌파 비대칭에 의해 나타난다. 좌 전두엽은 긍정적인 사고, 우 전두엽은 부정적인 사고와 연관이 있는데, 우울증의 경우 좌 전두엽에서는 알파파가 증가하고, 우 전두엽에서는 베타파가 증가한다. 우울증이 심화 될수록 비대칭이 심화된다[5]. 그림 2는 우울증 환자와 정상인의 뇌를

보여준다. 왼쪽의 그림은 우울증 환자의 뇌로 왼쪽과 오른쪽의 비대칭이 심하다. 오른쪽 그림은 정상인의 뇌로 우울증 환자와 확연한 차이를 보인다.

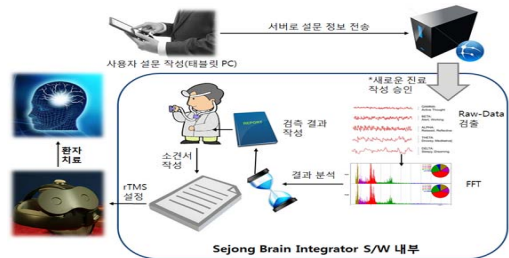


<그림 2> 우울증 환자와 정상인의 뇌

3. 우울증 진단 소프트웨어 개발

본 논문에서 개발한 소프트웨어는 사용자의 뇌파를 실시간으로 측정하고 분석하여 우울증 여부를 판단하는 시스템이다.

3.1 우울증 진료 시나리오



<그림 3> 우울증 진단 시나리오

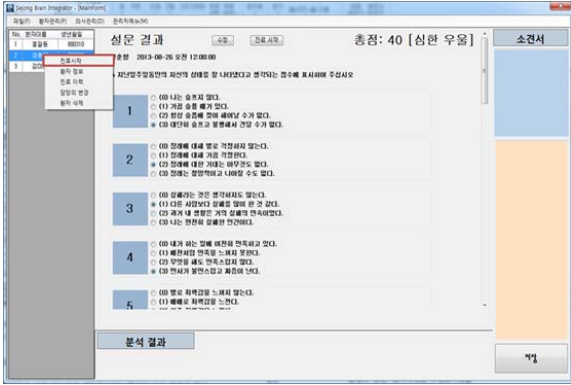
그림 3은 우울증 진단 시나리오를 나타낸다. 우선 환자(사용자)가 태블릿 PC를 통해 설문을 작성한다. 설문 내용은 BDI(Beck Depression Inventor, 벡의 우울척도)를 기준으로 작성되고 모든 문항의 작성이 완료 될 경우 서버로 전송된다. 설문을 종료한 환자는 뇌파 측정기를 통해 뇌파를 측정한다. 측정된 뇌파의 Raw data를 FFT 분석을 통하여 각 채널별 주파수 정보로 변환한다. 이 때, 각 채널별 주파수 정보로 우울, 지중, 이완의 결과값을 제공한다. 결과값은 의사가 육안으로 측정된 결과, 프로그램이 분석한 결과값으로 나뉘어 두 가지 조건서가 작성되며 의사는 분석된 결과를 기반으로 rTMS(repetitive Transcranial Manetic Stimulation)의 설정값을 지정하고 환자가 받게 될 치료방향을 결정한다. rTMS는 강한 자기장을 이용해 두뇌의 특정 부위를 집중 자극하여 각종 뇌신경 질환의 치료를 돕는 의료기기이다.

3.2 시스템 구성

전체 시스템은 설문 모니터링 및 수정 모듈, 뇌파 측정 모듈, FFT 변환 모듈, rTMS 설정 모듈로 구성되어 있다.

설문 모니터링 및 수정 모듈에서는 그림 4와 같이 환자가 태블릿 PC를 통해 질문에 응답할 수 있다. 설문을 완

료 한 경우, 태블릿 PC에서는 서버로 XML 문서형식의 데이터를 전송하며, 서버에서는 사용자의 문진결과와 진료 이력을 DB에 저장한다. 통신에 사용되는 XML문서는 의사의 로그인 정보를 나타내는 문서와 환자정보를 나타내

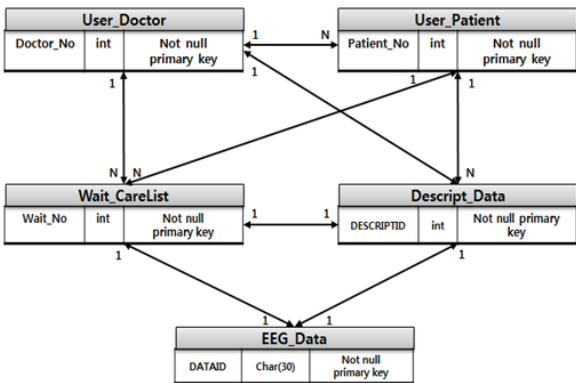


<그림 4> 태블릿 PC 화면

는 문서로 구성되며, 이는 환자의 주민등록번호와 같은 개인정보를 노출 시키지 않기 위한 최소한의 정보만 포함하여 보안성을 높이도록 설계 되었다. 그림 5와 그림 6은 데이터 송수신을 위한 XML 문서의 정의와 DB 구조도 이다.

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-KR"?>
<Patients>
  <info>
    <patient_no>1</patient_no>
    <name>홍길동</name>
    <b_date>1988-03-10</b_date>
    <patient_no>2</patient_no>
    <name>성훈항</name>
    <b_date>1973-07-20</b_date>
    <patient_no>3</patient_no>
    <name>김미려</name>
    <b_date>1980-09-16</b_date>
  </info>
</Patients>
```

<그림 5> XML 페이지 정의



<그림 6> DB 구조도

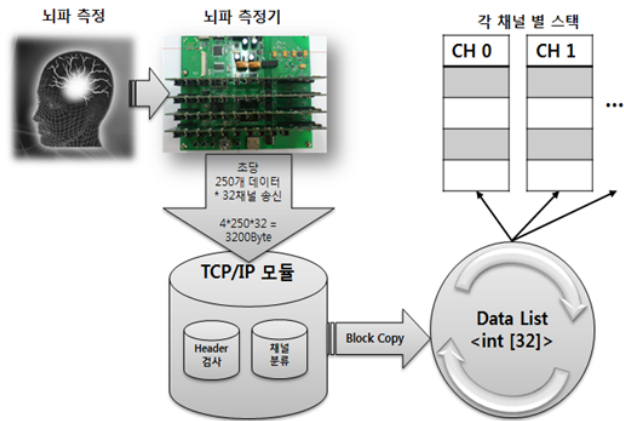
답변이 완료되어 서버에 설문 결과가 등록되면 환자의 뇌파 수집과 같은 진료를 시작 할 수 있으며 환자가 태블

릿 PC로 응답한 BDI설문 결과를 모니터링 및 수정 할 수 있다.

뇌파 측정 모듈에서는 환자의 뇌파를 Raw data로 취득하며 실시간으로 데이터를 모니터링 할 수 있다. 뇌파는 최대 32채널/초당 250개의 데이터를 수신하여, 고속 데이터 처리 알고리즘이 필요하다.

뇌파의 취득이 종료되면 각 채널에 해당하는 Raw data는 각 채널별 스택에 저장되고, FFT 모듈에서 채널을 선택해 해당 채널의 신호를 FFT 분석하여 주파수 빈도를 검사한다. 모듈의 결과 값은 집중도와 우울 척도를 알아내는 정보로 사용된다. 진료가 종료되면 rTMS 모듈에서 뇌파 치료기로 전송될 치료기의 설정값을 설정하여 저장한다. 설정한 파일을 USB에 저장하고 치료기에 삽입하여 설정한 기능을 동작한다.

3.3 뇌파 데이터 고속 처리 알고리즘



<그림 7> 뇌파데이터 고속 처리 알고리즘 구조도

그림 7은 뇌파데이터 고속 처리 알고리즘 구조도이다. 뇌파 측정기를 통하여 측정된 뇌파는 4바이트의 정수형으로 이뤄져 있으며 각 채널마다 초당 250개의 데이터를 수신하고, 총 32개의 채널로 구성되어 있다. 결과적으로 4Byte * 250 * 32ch로 초당 약 3.2KB의 데이터를 수신하며 각각의 채널별로 분류해야한다. 이 프로그램에서는 데이터를 수신하기 위한 TCP/IP 모듈의 Thread와 뇌파 측정 모듈에서 그래프를 실시간으로 처리하기 위한 Thread로 구성된다. 이와 같은 2개의 Thread간의 동기화 문제를 해결하기 위해 프로그램 전역에서 접근할 수 있는 인스턴스를 생성하고, 해당 인스턴스는 TCP/IP 모듈에서 수신하는 모든 데이터를 저장함과 동시에 각각의 채널별로 나눠진 스택에 채널별 데이터를 저장한다. 이와 같은 알고리즘을 적용함으로써 TCP/IP 수신 모듈과 뇌파 측정과 동시에 실시간으로 그래프를 처리하는 모듈과의 데이터 충돌을 예방할 수 있고, 채널별로 파형을 분류하는 자원을 절약해 추후에 FFT 모듈의 호출시 계산량을 줄일 수 있다.

3.4 우울증 진단 모듈

실시간 뇌파지표분석을 통하여 우울증을 진단한다. FFT 변환을 통하여 뇌파의 기본파형이 분류되고, 분류된 신호는 각 알고리즘에 따라 주의/이완/집중/우울의 지표가 계산된다.

(1) 주의 지표 : SMR(12~15Hz) 세기. 주의 또는 경계시에 활성화되는 지표로 주의는 어떤 한 곳이나 일에 관심을 집중한 상태이며 감각운동피질(Sensory Moter Cortex) 부분에서 주로 나타난다. 각성 준비상태 또는 운동계의 대기 상태에 나타나는 SMR파의 크기를 지표로 한다.

(2) 이완 지표 : $\alpha / \text{High-}\beta$. 이완은 긴장을 풀 상태를 의미한다. 정신 및 육체적 긴장이 이완되어 스트레스가 해소되는 것과 관련하여 High- β 파에 대한 α 파의 비율을 지표로 한다.

(3) 집중력 지표 : 집중력 지표 = Power Ratio of (SMR + M- β) / θ . 집중상태에서 θ 파 리듬은 줄어들면서 unfocused attention을 의미하는 SMR(12~15Hz)와 focpused attention을 의미하는 Mid- β 파(16~20Hz)가 증가하게 된다. 따라서 집중지표는 θ 파에 대한 SMR과 Mid- β 리듬 비율을 지표로 한다.

$$(4) \text{우울지표} : \frac{1}{P_{aL}} - \frac{1}{P_{aR}} / \frac{1}{P_{aL}} + \frac{1}{P_{aR}} = \frac{P_{aR} - P_{aL}}{P_{aR} + P_{aL}}$$

P_{aL} 은 왼쪽의 α 파, P_{aR} 은 오른쪽의 α 파를 의미한다. 우울상태에서는 뇌의 불균형적인 활동(오른쪽 전반구의 비대한 활동)을 동반한다. 이에 따라 뇌의 불균형을 좌 전뇌 피질과 우 전뇌피질 사이의 활동의 차이로 추론하여 좌/우 뇌의 활동 차이를 지표로 활용한다.

4. 결론

실시간으로 뇌파를 취득하고 이를 분석하여 우울증 여부를 판단하는 시스템을 구현했다. 우울증의 정확한 진단을 위해서는 문진을 통한 전문의의 판단이 필요하지만, 본 논문에서 제시되는 기술은 문지 이외의 진단 수단에 대한 가능성을 보여준다. 전자기적 자극을 통한 뇌 조절기기가 약물치료에 이어 본격적으로 진료에 도입되고 있으므로 우울증 진단에도 컴퓨터를 이용한 방식에 대한 연구가 요구되고 있다.

참고문헌

[1] 건강보험심사평가원, <http://stat.mw.go.kr/>
 [2] 조호현, and 진성찬. "뇌전도 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술." 한국통신학회지 (정보와통신) 29.7 (2012): 47-55.
 [3] 음태완, and 김응수. "뇌파기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술." 정보과학회지 22.2 (2004): 5-19.
 [4] 황구연, 신동규, and 신동일. "생체신호 분석을 이용한 바이오피드백 인터페이스 설계." 한국정보과학회 학술

발표논문집 39.1A (2012): 337-339.

[5] Gotlib, Ian H. "EEG alpha asymmetry, depression, and cognitive functioning." *Cognition & Emotion* 12.3 (1998): 449-478.

[6] Mandel, Christian, et al. "Navigating a smart wheelchair with a brain-computer interface interpreting steady-state visual evoked potentials." *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2009.*

[7] Volosyak, Ivan, et al. "Improvement of visual perceptual capabilities by feedback structures for robotic system FRIEND." *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on* 35.1 (2005): 66-74.

[8] 박인순, and 박병운. "뉴로피드백을 이용한 뇌기능 최적화 연구-임상사례 중심." 한국정신과학회 학술대회논문집 18 (2003): 64-85.