

뇌파 신호를 이용한 전신마비환자의 감정표현

김수중*, 김영철**, 이태수**

*충북대학교 전자공학과, **충북대학교 전자공학과, **충북대학교 의공학과

Rendering of general paralyzed patient's emotion by using EEG

Su Jong Kim*, Young Chol Kim**, Tae Soo Lee**

*School of Electrical and Computer Eng, Chungbuk National University, Korea.

**Dept. of Electronics Eng, Chungbuk National University, Korea

**Dept. of Biomedical Eng, Chungbuk National University, Korea

Abstract 본 논문은 의사표현이 어려운 전신마비환자의 뇌파(EEG)를 이용하여 긍정과 부정을 표현할 수 있는 방법에 대해서 소개한다. 더 나아가 인간의 감정에 따라 긍정과 부정을 민감하게 반응하는 뇌 영역을 분석하였다. 해당영역의 뇌파(EEG)변화를 측정하기 위해 컴퓨터 시스템과 접촉시키는 목적도 포함하고 있다. 이를 위해서 미약한 뇌파를 증폭시키는 전치 증폭기를 구현하였고 인공산출과 뇌파 주파수영역을 통과시키는 아날로그 전자회로를 구현하였다. 또한 인간의 두뇌피질로부터 측정된 신호는 컴퓨터 시스템에 전송된다. 수신된 신호를 실시간 Fast Fourier Transform(FFT) 신호처리과정을 거쳐 뇌파의 주파수 영역을 분류하게 된다. 이때 분류된 뇌파를 바탕으로 인간의 긍정과 부정을 표현할 수 있는 방법을 제시한다.

1. 서 론

Health Care 시대에 도입 후 인간은 건강한 생활을 추구하고 있으며 현재까지 Bio분야가 급속도로 성장해왔다. 또한 2003년부터는 BT와 IT 융합 기술들을 많은 연구소와 관련업체에서 많은 비중을 두고 연구/개발하고 있다. Bio기술 분야 중 인간에게서 발생하는 생체신호 응용분야는 의료진단 및 치료, 생리학, 스트레스 진단, 인간공학, 심리학, 스포츠의학, 전자공학, 재활공학, 산업 등등 아주 많은 분야에서 사용되어지고 있다. 생체신호는 대표적으로 뇌파(EEG), 안전도(EOG), 심전도(ECG), 근전도(EMG), 위전도(EGG)로 나누어 볼 수 있다.

<표 1> 고전적인 생체신호 측정 및 응용현황

분류	핵심 기술	응용분야
뇌파(EEG)	-생체전극 설치기술 -신호증폭기술 -신호처리, 기록, 해석 기술	-REM 측정 -간질병 -바이오 피드백 -각성반응
심전도(ECG)	-생체전극 설치기술 -신호처리, 기록, 해석기술	-부정맥검사 -협심증 -심근경색 -심장병
근전도(EMG)	-생체전극기술 -신호증폭기술 -신호처리, 기록, 해석 기술	-근피로도 -근육수축력 -근육통 진단
안전도(EOG)	-생체전극 설계기술 -신호처리 기술, 해석기술	-안구감사

표1에서 제시한 바와 같이 생체신호 중 인간의 정보를 가장 많이 가지고 있는 뇌파(EEG)를 측정하여 인간의 감정표현 및 스트레스를 판단 할 수 있는 시스템과 그 방법에 대해 설명하고자 한다. 기존의 뇌파계측 시스템은 10-20전극 배치법에 따라 수십 개의 생체전극을 사용하고 계측된 뇌파신호를 분석하여 특정한 목적의 정신 상태(예, 표1참조)를 분석하는 것이 대부분 이었다. 또한 계측 시스템은 고가에 판매되기 때문에 일반인이 구입하여 사용하기에는 어려운 점이 있었다. 본 논문에서는 이러한 기존의 뇌파계측 시스템을 벗어나 식물인간(전신마비)과 같은 락인시드롬(Locked in Syndrome)환자에게 부착하여 긍정과 부정을 대담할 수 있는 시스템 구성 및 방법에 대해 제시한다. 이를 위해 인간의 감정에 따라 긍정과 부정을 민감하게 반응하는 뇌 영역을 찾아 분석하였고 해당 뇌 영역을 생체전극한 개관을 사용하여 측정된 신호를 컴퓨터 시스템에 무선전송(Bluetooth)하게 된다. 이 생체신호 처리모듈에는 생체신호의 아날로그 전자회로 모듈을 사용하였고 실시간으로 FFT 분석을 수행하여 스펙트럼 전력, 주파수 특성, 그리고 델타(delta), 세타(theta), 알파(alpha), 베타(beta), 감마(gamma) 등과 같이 뇌파패턴을 추출하고 그 조합지수 등을 계산하여 정량화된 출력 신호로 변환하였다.

** 책임저자(Corresponding Author)

본 연구는 보건복지부 의료가기술 개발 사업비(0405-ER01-0304-0001)에 의하여 연구되었음.

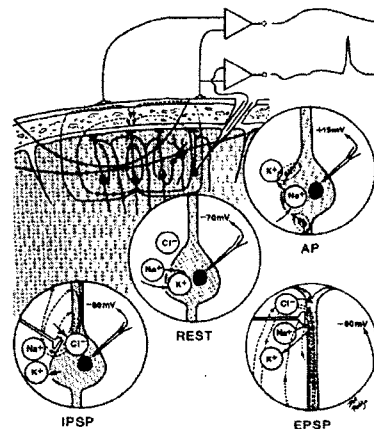
정량화된 뇌파신호를 지정된 시간동안 지속적으로 측정하여 인간의 긍정과 부정을 판별하게 된다. 또한 국내에서 사용되어지는 생체신호 측정기는 몇몇의 벤처기업 제품과 외국으로부터 수입한 측정 장치들이 사용되고 있는 실정이다. 측정기의 가격이 고가이므로 일반가정이나 일반인이 사용하기에 불 현실적이다. 이번에 개발한 생체신호측정 및 응용 시스템은 일반가정에 서 저렴한 가격에 구입하여 사용할 수 있도록 가격대 성능비를 고려하였다.

2. 본 론

2.1 뇌파(EEG)신호 및 검출 방법

뇌파에 반영되는 뇌의 전기적 활동은 신경세포(neurons), 교세포(glia cells), 혈뇌장벽(blood-brain barrier)에 의해 결정되는데 주로 신경세포에 의한다. 뇌 무게의 반을 차지하는 교세포들은 신경세포가 연결해 있는 부위인 시냅스에서 이온, 분자의 흐름을 조정하고 신경세포들 간의 구조 유지, 지탱, 보수 역할 등을 한다. 혈뇌장벽은 뇌혈관 속에 있는 각종 물질 중 필요한 물질만 선별해서 통과시키는 역할을 한다. 교세포와 혈뇌장벽에 의한 뇌파의 변화는 조금씩 천천히 일어나며 이에 비해 신경세포의 활동에 의한 뇌파의 변화는 크고, 빠르게 다양하게 발생한다.

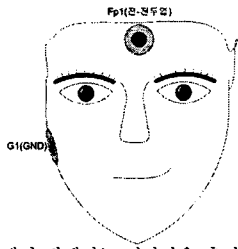
뇌파는 대뇌피질에 있는 신경 세포들의 활동에 의해 대부분 결정된다. 대뇌 피질의 신경 세포들이 활동하면서 만들어내는 전기 신호들 중에서도 신경 세포들이 연결해 있는 부위인 시냅스에서 형성되는 흥분성 시냅스 전위(EPSP, -10 mV)와 억제성 시냅스 전위(IPSP, -80mV)의 합을 가장 우세하게 반영한다. 그림 1.은 시냅스 전위의 작용으로 인한 뇌파발생과 관련된 도식화된 그림이다.



<그림 1> 대뇌피질에서의 뇌파발생.

따라서 발생기전에 근거한 뇌파란 대뇌피질을 구성하는 신경 세포들의 시냅스 전위를 대부분 반영한 신호이다. 대뇌피질은 인간이 지닌 고도의 감각과 지각, 운동과 기술, 사고력, 상상력, 언어 능력 등을 담당하는 중요한 부위로서 인간을 인간답게 만드는 부위라고도 한다.

위와 같이 인간의 뇌 영역에서 발생하는 전위가 대뇌피질을 통과하여 인간의 외부 대뇌피질에서 뇌파를 측정할 수 있다. 인간의 대뇌피질에 부착되는 생체전극은 일회용 Ag-AgCl(3M-2237) 전극을 사용하였다. 뇌파신호의 검출을 위해서 두피에 부착되는 전극의 위치는 국제 10/20 전극 시스템에 따르도록 노력하였다. 그림 2에서 보듯이 제시된 구현에서는 양극 유도법(bipolar method)방식으로 측정하였다. 그림2에서 Fp1은 전-전두엽(Frontal pole)을 나타내고 G1은 기준점(Ground)을 의미한다. 위 방법은 이마 정중앙 중심으로 전-전두엽 영역의 신호를 측정한다. 이러한 양극 유도법은 근육에서 발생하는 잠수 신호의 억제에 우수하다.



<그림 2> 전-전두엽에서 발생하는 뇌파만을 측정하기 위한 전극 배치법

아래 그림3은 전두엽부분에 생체전극을 부착하여 전-전두엽(Fp1)을 측정된 뇌파신호이다. 전치증폭부와 능동필터를 통과한 뇌파신호이다.



<그림 3> 전두엽에서 측정된 뇌파신호

2.1.1 감정표현에 따른 뇌 영역구조.

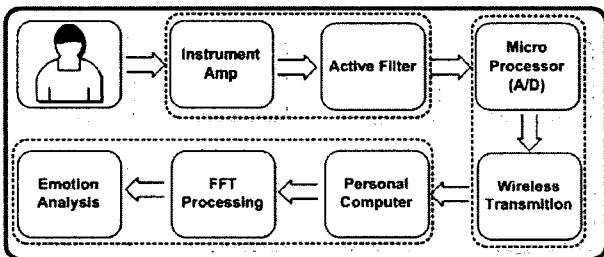
표2는 인간의 뇌 구조가 담당하는 기능을 요약한 것이다. 인간의 뇌 영역 중 전두엽부분이 인격, 감정표현, 주도성, 계획 세우는 일을 담당한다. 또한 전두엽의 역할은 운동피질(motor cortex), 일차 운동피질(primary motor cortex) 반대쪽 몸 운동에 관여한다. 즉 왼쪽 전두엽의 운동피질은 오른쪽 몸 운동을 담당한다.

<표 2> 인간의 뇌 영역 역할

뇌의 구조	역할 및 기능
전두엽 (Frontal Lobe)	생각, 계획, 생각과 판단에 따른 몸 움직임을 담당.
두정엽 (Parietal Lobe)	체감각의 지각, 시지각과 체감각 정보를 통합.
측두엽 (Temporal Lobe)	언어기능, 청각적 처리, 장기기억과 정서 담당.
후두엽 (Occipital Lobe)	시지각의 처리, 시각인식

2.2 전체 시스템 구성

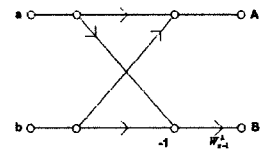
본 논문에서는 전신마비 환자처럼 대화가 불가능한 환자의 대뇌피질에서 추출한 뇌파를 이용하여 특정 목적에 따른 환자의 긍정과 부정의 표현을 얻는데 목적이 있다. 위와 같은 목적을 구현하기 위해서 아래 그림3과 같은 시스템을 구현하였다. 인간의 대뇌피질에서 측정되는 뇌파의 신호는 20[uV] 단위로써 뇌파를 증폭하는 전치증폭기(Instrument Amp)가 필요하고 뇌파의 주파수 대역만을 통과 시킬 수 있는 능동필터(Active Filter)를 구현시켰다. 능동필터는 LPF, HPF, BPF, Notch Filter를 사용하여 뇌파 주파수 대역인 0[Hz]~50[Hz]만을 통과 시켰다. 필터링이 된 뇌파신호는 A/D Converter(resolution:8[bit], sampling time:2.25[ms])과정을 거쳐 디지털 데이터로 변환된다. 디지털화된 뇌파데이터는 무선으로 뇌파분석용 컴퓨터에 전송된다. PC에 수신된 데이터는 FFT 분석을 수행하여 스펙트럼 전력 및 주파수 특성을 얻어낸다. 이를 바탕으로 뇌파의 델타(delta), 세타(theta), 알파(alpha), 베타(beta), 감마(gamma)등의 주파수 분석을 통하여 그 조합지수 등을 계산하여 피검자의 감정을 판단한다.



<그림 4> 전신마비환자의 긍정과 부정 분석시스템 구성도

2.2.1 뇌파(EEG)신호의 FFT구현 및 감정표현

디지털 뇌파신호를 DFT하지 않고 FFT하게 되면 계산량을 대폭 줄일 수 있고, 계산을 고속으로 실행할 수 있다. 여기서 적용한 것은 데이터 수가 2^M (M:정수)이 될 때 적용할 수 있는 FFT알고리즘으로, 일반적으로 2를 기저로 하는(radix-2) 알고리즘이라고 한다. FFT알고리즘은 여러 가지가 존재하지만 본 시스템에서는 주파수 축음(decimation in frequency) 알고리즘을 적용하였다. 그림4는 주파수 축음 알고리즘의 나비연산(Butterfly Computation)구조를 보여준다.



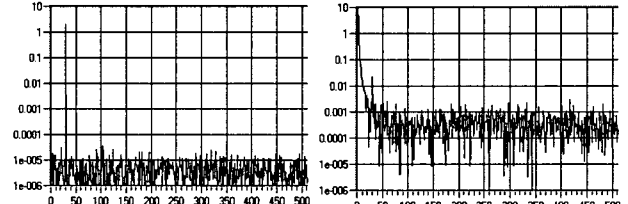
<그림 5> 버터플라이 연산구조

$$A = a + b$$

$$B = (a - b) W_{n-1}^k$$

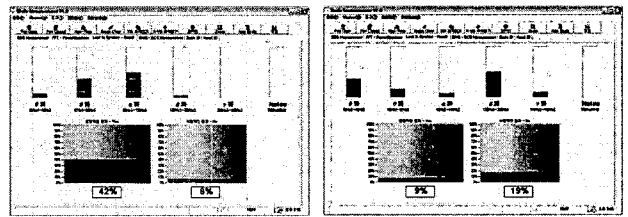
$$W_{n-1}^k = \exp\left(\frac{j2\pi k}{n-1}\right) = \cos\left(\frac{2\pi k}{n-1}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi k}{n-1}\right)$$

뇌파신호의 주파수 특성 및 스펙트럼 전력을 분석하기 위해 FFT의 기본적인 응용부분으로 스펙트럼 해석을 하였다. 그림5는 프로그래밍 작업으로 구현된 파워스펙트럼을 검증하기 위해 30[Hz]주기를 가진 정현파를 512개의 데이터수로 설정하여 테스트한 결과이고, 우측 이미지는 측정된 뇌파신호를 파워스펙트럼으로 분석한 결과 데이터이다.



<그림 6> 파워스펙트럼 시뮬레이션 및 뇌파 파워스펙트럼

뇌파는 의식의 상태에 의해서 변화하는데 종마다 정신 상태에 따라 각각 특유한 형이 반응한다. 즉 각성반응(Arousal reaction)이라한다. 말을 할 수 없는 환자도 각성반응을 보인다는 조건하에 환자에게 질문을 한 후, 일정시간동안 뇌파신호를 측정하고 측정된 신호를 스펙트럼 분석으로 주파수 분별($\delta, \theta, \alpha, \beta, \gamma$)을 하게 된다. 그림 6은 검사자 전신마비 환자와 동일한 조건에서 언어나 행위로 표현하지 않은 채 검사자의 뇌파를 측정하여 주파수 분별한 것이다. 좌측결과는 42%의 긍정과 8%의 부정을 표현하였다. 우측결과는 9%긍정과 18%의 부정을 표현하였다.



<그림 7> 뇌파 신호의 주파수 분별에 따른 긍정과 부정 표현 결과

3. 결론

종래에는 언어와 행위를 할 수 없는 인간들에게는 자신의 감정을 표현해 줄 수 있는 방법이 없었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문과 같은 시스템을 개발하였다. 위 시스템은 뇌파를 측정하기 위한 전치증폭부와 필터링 회로부로 구성되어 있어 뇌파를 정상적으로 측정할 수 있었고 디지털화된 뇌파데이터를 퍼스날컴퓨터(PC)에 무선 전송하여 PC자체에서 신호처리 할 수 있었다. 처리된 데이터를 바탕으로 일정한 시간동안 측정된 뇌파의 스펙트럼을 주파수 분별하여 현재 검사자의 뇌파 주파수 대역을 알 수 있었다. 본 논문의 결과를 기반으로 생각을 할 수 있는 인간은 뇌의 각성반응을 일으키기 때문에 뇌의 변화에 따른 감정표현도 가능하다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 감정표현에 밀접한 관계를 가진 신경계와 뇌 영역을 조사할 것이며 실제 전신마비 환자들을 대상으로 실험을 지속적으로 진행할 것이다. 이러한 연구가 성공적으로 수행한다면 언어와 행위를 할 수 없는 인간들도 긍정과 부정의 감정표현으로 대화가 가능할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Emil S Valchinov and Nicolas E Pallikarakis, "An active delectrode for bio potential recording from small localized bio-sources", BioMed Central, pp. 1-14, 2004
- [2] Christoph Guger, Alois Schlögl, Christa Neuper, Dirk Walterspacher, Thomas Strein, and Gert Pfurtscheller, "Rapid Prototyping of an EEG-Based Brain - Computer Interface (BCI)", IEEE Transactions on neural system, pp. 49-58, 2001
- [3] 황민철, 류인경, 변은희, 김철중, "감정과 뇌파와의 상관성에 대한 연구", 한국감성과학회, pp. 80-84, 1997
- [4] Bae, Byung-Hoon, "Human Brain Cortical Electric Current Source Localization from the Surface Laplacian of a Visual and Motor Event Related Potential", Human Cognitive Cortical Locus of Electric Current Source, pp. 1-13, 1995