

다중채널 EEG 신호의 실시간 해석에 관한 연구

* 조 재희*, 장 태규**, 양 원영*

* 중앙대학교 공과대학 전기공학과

** 중앙대학교 공과대학 제어계측공학과

Real Time Analysis of Multichannel EEG Signal

J.H.Cho*, T.G.Chang**, W.Y.Yang*

* Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University

** Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Chung-Ang University

Abstract

This paper presents the design of an automated EEG analyzing system. The design considerations including processing speed, A/D conversion, filtering, and waveforms detection, are overviewed with the description of the associated EEG characteristics. The architecture of the currently implemented system consists of a μ -controller based front-end signal processing unit and a host computer system. The data acquisition procedures are described along with a couple of illustrations of the acquired EEG/EOG signal.

1. 서론

과거 30여년 동안 미국 및 유럽등의 여러 과학자들에 의해 EEG 신호를 자동으로 처리할 수 있는 시스템을 구현하고자 많은 연구를 하여왔다. 사람의 시각적인 판독 수준에 미칠 수 있는 생체신호 자동처리 기술이 정립된다면 신호 해석에 일관성을 유지할 수 있고 객관적이고 정량적인 해석을 가능토록 하여 준다는 점에서 보건, 의학적인 측면의 기여도가 크다. 또한 다량의 신호를 일일이 눈으로 보고 처리하기 위한 많은 시간과 노력을 절약하여 줄 수 있다는 경제적인 측면에서의 중요성에도 비추어 기여도는 대단히 크다.[1][2]

이러한 중요성에 비해 지금까지의 연구결과로는 사람이 눈으로 보고 판독하는 수준에 미칠 수 있을 만큼 신뢰성 있는 자동처리 기술이 얻어지고 있지 않아, 대부분의 경우 그 응용에 커

다란 한계가 있다. 그 주된 이유로는 EEG, EOG, EMG 등의 생체신호들은 그 특성이 시시각각 변하며 상대적으로 많은 양의 잡음이 게재되어 있고, 특히 신호 근원 모델에 대한 지식이 충분치 않아 지금까지 이룩되어 있는 해석적 신호 기법들(analytic signal processing techniques)을 적용하기 힘든 이유 때문이다. 따라서 대부분의 경우 신호 해석은 현상적 모델(phenomenological model)로 보고 경험과 훈련에 의해 얻어지는 의사의 heuristic한 지식에 의해 행해지게 되기 때문에 자동처리 기술이 어렵게 된다. 즉 사람의 시각적 판독은 경험에 의해 얻어진 heuristic한 지식을 바탕으로 수행되며 이러한 heuristics는 고정된 규칙들로 구성된 종래의 알고리즘 방식으로 대체하기가 일반적으로 힘들다. 따라서 생체신호의 자동처리는 광범위한 변칙성(variability)과 잡음에 대한 적응능력(adaptability)을 가지고 처리할 수 있는 기능이 부여되어야 하며, 사람의 heuristics에 근간하여 판독하는 과정을 컴퓨터 내에서 적합하게 묘사 표현하여야 한다는 문제를 안고 있다. 이러한 문제는 비단 EEG 신호에 국한 되는 것이 아니라 radar, image, sonar 신호 해석등 사람의 경험에 의해 얻어진 시각적 판독 기능을 자동처리 시스템으로 대체하고자 하는 광범위한 경우 공통적으로 제기되는 문제이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해서 본 연구에서는 다중채널 EEG/EOG/EMG 신호의 자동해석을 위한 기술적인 사항들에 대하여 검토를 하고 이를 위해 필요한 주요 요소인 실시간 다중채널 시스템을 구현한 연구 결과를 기술하고자 한다. 이를 위하

여 2장에서는 EEG/EOG/EMG 신호의 특성과 자동해석과 설계 요건들에 대하여 설명한다. 3장에서는 전체 시스템의 구성과 구현된 데이터 채집 시스템을 기술한다. 또한 Signal Conditioning 필터와 주파수 해석을 이용한 파형감지 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 설계제작에서 얻어진 데이터 및 필터 출력등을 보인다. 마지막으로 5장에서는 EEG 자동해석 시스템의 개발을 위하여 앞으로 연구해야할 과제들에 관하여 기술한다.

2. EEG 신호 특성 및 자동해석 설계 요건

사람의 상태에 따라 EEG는 여러가지 파형들이 나타나고 서로 다른 배경모습을 갖는다. 특별히 훈련을 받은 EEG해석 전문가가는 이러한 파형들과 배경모양을 시각적으로 판독한다. 따라서 다중채널 EEG 신호를 자동으로 판독하는 것은 의사 및 EEG 관련 연구가들에 의해 Rechtschaffen & Kales Manual[3]을 통하여 정성적으로 정의되어있는 여러가지 EEG 파형 (alpha spindle, beta spindle, sigma spindle, delta, theta, muscle artifact) 와 REM(Rapid Eye Movement), SEM(slow eye movement), 및 EMG level들을 감지하는 과정과, 연속되는 신호를 각 구간(60초 혹은 30초)별로 상태를 판단, 분류하는 과정을 포함하게 된다. 감지대상에 포함되는 파형중 Alpha, Beta, Sigma, Theta 등은 파형이 짧은 시구간에 정의되는 Sinusoidal Burst라는 점에서 흔히 스피들(Spindle)이라고 부른다. Delta 파형은 반주기파의 크기와 주기로서 정의된다. REM, SEM, K-complex등은 주로 파의 모양, 배경, 타채널과의 시간관련(time-cohereny) 정보등이 반주기파의 크기 및 주기정보와 함께 감지에 사용된다. 표 1에서는 EEG의 각 파형들에 대한 정의의 예를 보였다. 또한 그림 1에서는 알파 스피들과 시그마 스피들의 전형적인 예를 볼 수 있다.

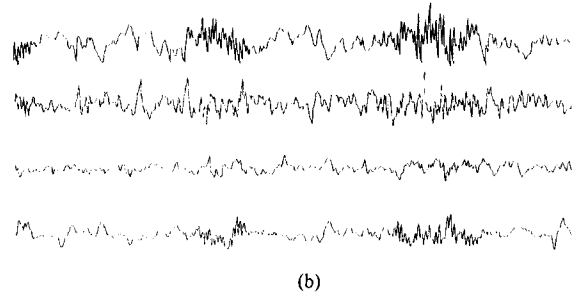
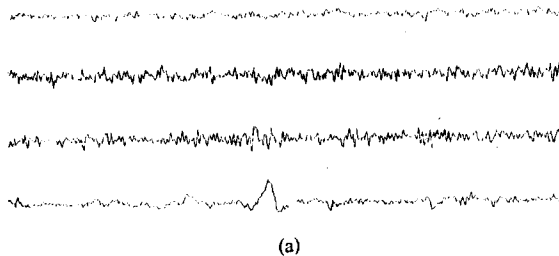


Fig. 1. Polygraph Chart Recording Examples of EEG/EOG. (a) Awake EEG/EOG (b) sleep EEG/EOG.

그림 1. EEG 채집 장치를 이용해 Ploygraph Chart에 기록한 EEG/EOG의 예,

- (a) 사람이 깨어있는 상태에서 얻은 EEG/EOG 파형의 예
- (b) 사람이 잠든 상태에서 얻은 EEG/EOG 파형의 예

표 1. 파형 정의

Activities		Freq. [Hz]
S P I N D L E	Alpha	7.5-12.0
	Beta	16.0-32.0
	Theta	2.0- 7.5
	Sigma	12.0-16.0
REM		0.5- 3.0
K-Complexes		0.5- 2.0
Delta		0.5- 2.0
SEM		0.2- 0.5
Muscle Artifact		above 32
EMG		above 32

이러한 EEG 신호들을 자동 해석하기 위한 설계 요건들중 하나는 EEG 신호가 전극의 부착위치와 사람의 상태에 따라 달라 나타나기 때문에 다중채널로 신호를 채집해야 한다는 것이다. 따라서 관심대상이 되는 파형들이 나타나는 위치에 따라 다중채널 EEG 신호가 녹음된다. 채널 수와 전극위치는 실험실의 기준에 따라 달라질수 있으나 완전한 해석을 위해서는 10-20전극 부착 기준에 따라, 세계의 EEG 채널(Frontal: F1-F7, Central:

C3-A2, Occipital: O3-OzPz)과 한개의 EOG 채널 (LE - A2)

그리고 EMG 채널이 포함된다.[3]

EEG 신호를 장시간 다중채널로 채집하여 실시간 처리를 하기 위해서는 시스템의 처리 속도가 중요한 설계 요소 중의 하나가 된다. 따라서 전처리 프로세서와 주 컴퓨터가 분담하는 다중 처리 구조로 전체 시스템을 구성하는 것이 실시간 자동해석을 위해서 효과적이다.

EEG 파형들은 언제나 배경잡음과 함께 나타난다. 따라서 파형감지를 위해서는 대부분의 경우 배경 잡음을 없애주고 원하는 파형을 뚜렷하게 하여주기 위한 목적으로 Signal Conditioning 필터를 사용한다. EEG 파형들은 짧은 시구간동안 존재하는 과도현상적인 신호이기 때문에 필터의 과도현상에 의한 EEG 파형의 왜곡은 심각한 문제이다. 따라서 EEG 파형에 가해지는 왜곡 현상을 최소화하도록 필터들을 설계해야 한다. 또한 이러한 Signal Conditioning 필터 설계시 고려해야 할 사항은 실시간 처리에 알맞은 고속처리가 가능해야 한다는 점이다.

3. EEG 자동해석 시스템

본 장에서는 2장에서 설명한 설계요건들을 고려하여 EEG 신호 자동해석 시스템을 구현하기 위해서 필요한 전체적인 시스템의 구성에 대한 개괄적 기술을 설명하였으며, 이를 위해 설계 제작된 데이터 채집 및 분석 시스템에 대하여 기술하고, 또한 Signal Conditioning 필터와 EEG 스핀들의 주파수 해석에 관해 설명하고자 한다.

EEG 신호는 뇌표피에 전극(electrode)을 부착하여 수-수십 μ volt 정도의 전기적인 신호를 preamplifier 혹은 EEG machine 을 통하여 증폭한 후 A/D 기능이 내장된 자동해석 시스템에 의하여 채집한다. 전장에서 설명한 바와 같이 자동해석 시스템의 전체적인 구성은 다중채널 EEG에 나타나는 여러가지 파형들을 감지하기 위한 A/D 변환, 필터, 파형감지 기능들을 수행하는 전처리 프로세서와, 이와 같이 얻어진 정보들을 가지고 구간별로 판단, 분류하는 역할을 담당하는 주 컴퓨터부로 구성된다. 또한 각 부분별로 통신, 캘리브레이션 목적의 인터페이스 하드웨어들이 시스템 구성에 포함된다. 그림 2에 전체 시스템의 구성을 보였다.

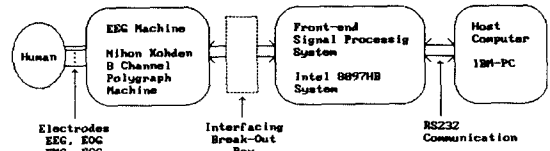


Fig. 2. Automated EEG Analyzing System.

그림 2. 전체 시스템의 구성

EEG 신호를 채집하고 자동해석을 수행하기 위한 시스템의 기능별 블럭도를 그림 3에 나타내었다.

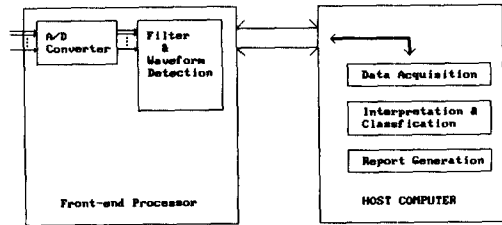


Fig. 3. Functional Block Diagram of EEG Data Acquisition System.

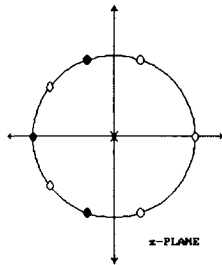
그림 3. EEG 데이터 채집 시스템의 기능별 블럭도

EEG 신호를 채집하기 위하여 A/D 변환과정은 EEG 신호특성과 파형감지시 time resolution에서 기인하는 오차들의 영향을 면밀히 검토해서 샘플링 주파수, A/D word length등의 사항을 결정해야 한다. 현재 구성된 시스템은 8097에 내장된 10bit A/D 변환기를 사용하고 각 채널당 샘플링 주파수는 240 Hz이다. 앞장에서 설명한 바와 같이 감지하고자 하는 파형들의 내주기성(intra periodicity) 특성에 따라 서로 다른 대역폭을 갖는 Signal Conditioning 필터들이 설계되고 각각의 파형들을 독립적으로 감지하는 병렬처리 구조의 파형감지기술이 설계되어야 한다. 필터의 선형 위상 특성은 시간적으로 파형왜곡을 방지하기 위해 요구되는 중요한 특성이다. 또한 파형 왜곡을 최소화하기 위해서는 상대적으로 통과대역이 넓고 완만한 기울기의 과도 응답 특성을 갖는 필터가 적당하다. 이러한 점들에 착안하여 comb 필터와 complex conjugate zero를 조합하고 근사적인 계산을 허용해서 부동소수점 곱셈이 없는 선형 FIR 필터가

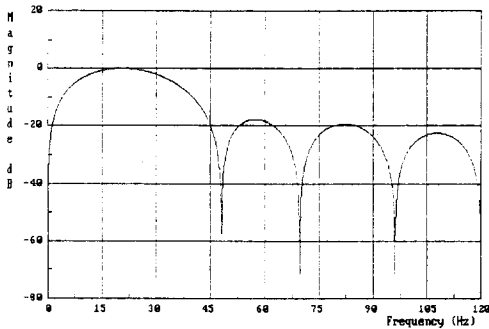
Signal Conditioning 필터로 적합하다.[5] 다음에 시그마 스피들 감지를 위한 Signal Conditioning 필터를 보였다.

$$H(z) = (z^5 - 1)(z^{-2} + 0.5z^{-1} + 1)(z^{-1} + 1) \quad (1)$$

식 (1)은 먼저 arcade가 5개인 $(z^5 - 1)$ 의 comb 필터를 설계 한 후 $(z^{-1} + 1)$ 과 $(z^{-2} + 0.5z^{-1} + 1)$ 의 3개의 영점을 삽입 하여 원하지 않는 주파수 범위의 arcade를 제거시켰다. 그림 4에 식 (1)의 Pole-Zero Plot과 크기 응답을 보였다.



(a)



(b)

Fig. 4. (a) Pole-Zero Plot of FIR Filter.

(b) FIR Filter Magnitude Response.

그림 4. (a) FIR 필터의 Pole-Zero Plot

(b) FIR 필터의 크기 응답

EEG 특성에 맞는 최적의 필터 설계는 앞으로 많은 양의 EEG 신호들을 대상으로 특성 검토를 거쳐 수행해야 한다.

EEG 파형들을 감지하기 위하여 여러 방법들이 연구되어 오고 있다. 이들을 크게 분류하면 각 파형의 시각적 특성

(graphoelement)들에 기초로 한 시간 영역에서의 해석방법과 주파수 영역에서의 스펙트럼 분포에 근간한 방법으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 Short Time Fourier Transform(STFT)를 사용한 스펙트럼 해석에 기초하여 시그마 스피들 파형의 감지를 위한 알고리즘을 구현하였다. 이 방법은 EEG 신호를 Signal Conditioning 필터링한 후 짧은 구간(1-2초)으로 나누어서 STFT를 수행하고, 시그마 스피들의 주파수 대역(12-16 Hz)에서 스펙트럼의 peak 치가 설정치에 도달하는지의 여부에 의하여 스피들을 감지하도록 하였다.

현재 EEG 채집시스템은 전처리부를 위해서 8097BH board를 설계 제작하였으며, 주 컴퓨터부에서는 다중채널 EEG 데이터를 storage 매개체에 저장하는 동시에 전처리부에서 실시간으로 추출되는 정보를 통신 인터페이스를 통해 받아들이고, 이런 정보들을 조합하여 시구간별로 상태판단을 수행한다. 또한 주 컴퓨터는 인식 판단을 수행하여 전문가에게 필요한 report를 제공하는 기능들도 수행하게 된다. 현재 데이터를 채집, 구간별 분류하는 역할을 수행시키기 위하여 주 컴퓨터부는 Intel 80386을 기반으로 한 PC를 이용하여 구현하였다.

전처리부분과 주 컴퓨터와의 통신은 인터럽트에 의한 직렬통신방식을 사용하였으며 캘리브레이션 목적으로 breakout box가 설계되어 입력신호를 0.1-10배로 조정하고, 변환기의 입력범위 신호로 조절하게 하였다. breakout box들과 인터페이스되는 다중채널 신호들은 플레이트 케이블과 실드선등을 이용하도록 설계하였다.

4. 실험 및 결과

실시간 다중채널 해석이 가능하려면 파형감지와 자동해석을 위한 전체적인 시스템의 개발이 완료되어야 한다. 본 논문에서는 현재까지 설계제작하여 구축한 실험환경하에서 실제 전극을 부착하여 EEG 데이터를 채집하는 과정을 기술하고 이와 같이 얻어진 데이터와 시그마 스피들이 포함된 신호의 Signal Conditioning 필터 출력과 주파수 해석의 예들을 제시한다.

NIHON KOHDEN사의 8 Channel Polygraph Chart EEG

machine을 사용하여 4 channel의 EEG/EOG 신호를 채널당 240 Hz로 샘플링하여 채집하였다. 채널 1은 frontal(Fp1 - F7), 채널 2는 central(C3 - A2), 채널 3은 occipital(O1 - Pz), 채널 4는 EOG(LE - A2)를 채집하였다. 그림 1에 4 채널 EEG/EOG 신호들을 Polygraph Chart에 기록한 예를 제시 하였다. 그림 1.(a)는 사람이 깨어있는 상태에서 채집한 EEG 파형의 예이다. 그림에서 보듯이 occipital 채널에 많은 양의 알파 스피들이 나타나는 것을 관찰 할 수 있다. 그림 1.(b)는 사람이 수면상태일 때 채집한 예이다. central 채널에 시그마 스피들이라 불리는 파형들을 볼 수 있다.

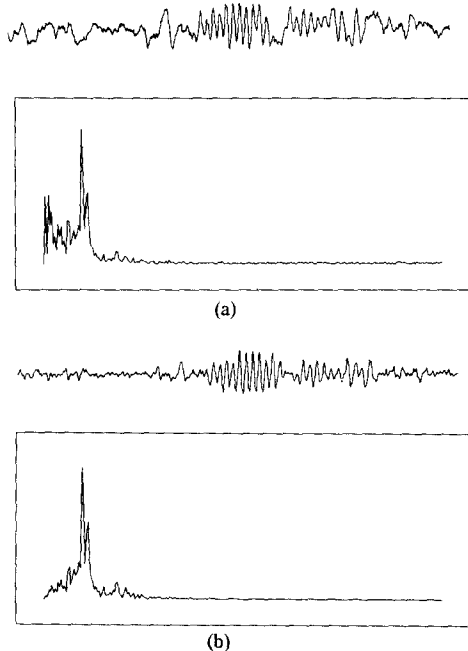


Fig. 5. (a) Sigma spindle and STFT.

(b) Filtered sigma Sindle and STFT

그림 5. (a) 시그마 스피들과 STFT

(b) 필터를 통과한 시그마 스피들과 STFT

시그마 스피들에 대하여 설계된 Signal Conditioning 필터를 이용하여 출력한 신호와 STFT에 의한 스펙트럼을 그림 5에 보였다. Signal Conditioning 필터를 통과한 EEG 신호는 포함되어 있는 잡음이 제거되고, 큰 크기의 파형의 영향(affect of large amplitude waves)이 제거됨을 볼 수 있다.

5. 검토

본 논문에서는 다중채널 EEG신호의 실시간 자동해석을 위해 관련되는 여러가지 설계요건들에 관하여 검토하였으며 전처리 프로세서와 주 컴퓨터(PC)를 이용하여 데이터 채집과 분석을 위한 기본 시스템을 설계, 구현하였다. 설계 제작된 데이터 채집 시스템을 이용하여 실제 EEG 데이터 파형들의 채집과정과 예를 보였다. 또한 STFT을 사용한 스펙트럼 해석에 기초하여 EEG 스피들의 파형감지 알고리즘을 기술하였다. 앞으로 실시간에서 나타나는 여러 EEG 파형들을 감지하고 이러한 정보들을 조합하여 사람의 시각적 판단에 의존하는 EEG 해석을 자동으로 수행할 수 있는 시스템의 개발에 관한 연구를 수행할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] Williams, R.L., Karacan, I., and Hurch, C.J., EEG of Human Sleep: Clinical Applications, New York: Wiley, 1974.
- [2] Smith, J.R., Karacan, I., and Yang, M., " Automated measurement of alpha, beta, sigma, and theta burst characteristics," Sleep, Vol.1, 1979, pp. 435-443.
- [3] Rechtschaffen, A. and Kales, A.(Eds.), A manual of standardized terminology, Technigues and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects, Public Health Service U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1968.
- [4] 장 태규, 조 재희, 양 원영, "다중채널 EEG신호 자동해석에 관한 연구," 대한전기학회 하계 학술발표대회 논문집 pp.293-295, 1992.
- [5] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, Inc 1989.