

다채널 실시간 신경신호 기록 및 처리 시스템의 개발

김상돌, 김경환, 김성준
서울대학교 공과대학 전기공학부

Development of Real Time Multi-Channel Data Acquisition and Processing System for Neural Signal

S. D. Kim, K. H. Kim and S. J. Kim

School of Electrical Engineering, College of Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

In this paper, we describe a real-time multichannel system for acquisition and analysis of extracellular neural signal. This system enables real-time display and storage, detection and classification of the neural signal recorded with semiconductor multi-channel microelectrode array. The system consists of signal amplification and filtering part, transmission part, real-time acquisition and signal processing part including unsupervised and supervised neural spike sorting module.

I. 서론

신경신호의 계측은 신경계의 연구에 매우 중요한 역할을 한다. 최근 들어 수십, 수백 개의 채널로부터 신경신호를 측정할 수 있는 미세전극기술이 발달함에 따라 많은 신경세포로부터의 신호를 동시에 측정할 수 있게 되었고 이에 따라 고속신호처리와 대용량저장도구를 통하여 얻어진 데이터를 컴퓨터로 분석할 수 있는 시스템의 필요성은 더욱 커지고 있다. 또한 전체시스템을 실시간이 동작이 가능한 마이크로 시스템 형태로 제작한다면 신경보철에도 이용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 시스템은 다채널 신경신호기록용 반도체 미세전극 어레이를 통하여 다채널 세포의 신경전압(multichannel extracellular action potential)을 계측하고 증폭하여 아날로그 필터링 과정을 거쳐서 데이터획득시스템(data acquisition system)이 있는 host computer로 전송을 한다. 데이터획득시스템은 계측된 다채널신경신호를 실시간 디스플레이하고 저장할 수 있는 기능을 갖는다. 또한, 저장된 신호를 바탕으로 자동으로 신경의 활동 전위를 찾아내어 신경 보철 분야에서 필요한 활동 전위의 분류와 활동 전위의 시간을 기록하게 된다.

II. 방법

전체 시스템의 개요는 그림 1과 같다. 신경 신호는 전치증폭기를 통해서 증폭되고, 이것은 주증폭기에서 다시 증폭되면서 필터링된다. 필터는 100 Hz ~ 15 kHz 의 통과대역을 갖는 대역통과필터이다. 이것은 FM Transceiver를 통해서 신호 획득 부분으

로 전송된다. 신호 획득 부분에서는 신호를 A/D 변환을 통해 host PC로 전송을 한다. Host PC는 신호 획득보드에서 획득된 신호를 시스템의 모니터에 실시간으로 디스플레이하고 실시간으로 하드디스크에 저장한다. 신호는 12 bit의 해상도로 양자화되어 최대 sampling rate는 30 kHz이다. 하나의 데이터 획득 보드는 최대 16 개의 single ended channel 혹은 8 개

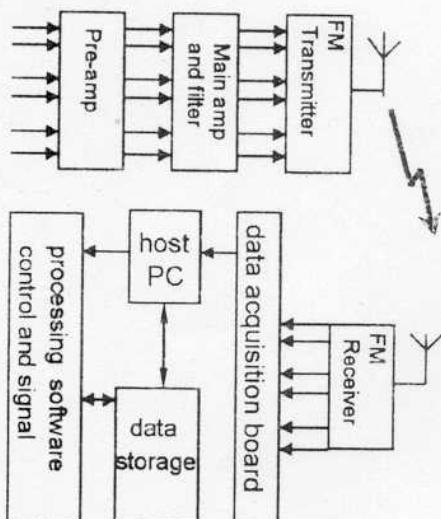


그림 1. 시스템의 전체 구성도

differential channel을 기록 및 처리할 수 있다. 신호 전송 보드는 host PC로의 고속의 연속적 신호전송을 위해서 double buffer direct memory access(DMA) 모드로 전송을 한다. 이의 구현을 위해서 데이터 획득시스템은 저장과 디스플레이를 담당하는 2개의 multi-thread program으로 작성되었다.

신호처리 program module은 software filtering, spike detection, spike sorting 등의 기능을 갖는다. Software filtering 부분에서는 IIR filter와 FIR filter를 설계 및 적용할 수 있도록 되어 있으며, FIR filter는 Bartlet, Blackman, Hamming, Hanning, Kaiser, Parks-McClellan 등의 방법으로, IIR filter는 Butterworth, Chevyshev, Elliptic, Inverse-Chevyshev 등의 방법으로 설계할 수 있도록 되어있다. [1]

저장된 신경신호의 활동전위를 찾기 위해서는 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)이 좋은 경

우에서는 단순한 threshold method 를 이용하며, SNR 이 좋지 않은 경우에는 Nonlinear Energy Operator 를 이용해서 활동 전위를 찾아낸다. [2]

Extracellular recording 에서는 하나의 채널에서도 여러 신경들로부터의 신호가 동시에 기록 되기 때문에, 뉴런의 firing rate 을 통한 해석을 위해서는 이 활동 전위를 분류하는 것은 매우 중요한 작업이다. 이 시스템에서는 supervised sorting 방법과 unsupervised sorting 방법을 구현하였다. Supervised sorting 은 신경 활동 전위의 peak-to-peak amplitude, peak-to-peak width, principal component 등과 같은 feature 를 추출하여 관찰자가 이차원 플롯 상에서 경계면을 설정해줌으로써 직접 분류해주는 방법을 구현하였다. Unsupervised sorting 은 Autoclass 라 불리는 Unsupervised Bayesian Classifier 를 이용하여 구현하였다. [3] 이의 입력으로는 앞에서 언급한 feature 들이나 검출된 활동전위 파형 전체를 사용한다.

III. 실험 및 결과

개발된 시스템을 이용하여 개구리의 skin sensory nerve 의 활동전위를 측정하고 실시간 디스플레이 및 저장을 하는 실험을 수행하였다. 전치증폭기의 이득은 50 이고, 100 Hz ~ 15 kHz 의 대역통과 필터를 통과시켰으며 기계적 자극을 가하면서 4 channel 의 신경 신호를 기록하였다. 본 시스템에 의하여 그림 2 에서와 같이 자극에 대한 개구리의 활동 전위가 실시간에 기록되고, 출력된다. 이 경우 개구리의 활동전위는 $\pm 0.5mV$ 범위에서 출력이 되었다. 필요한 경우 앞에서 언급한 이 신호들은 소프트웨어를 이용하여 추가적으로 filtering 할 수 있다. 측정된 개구리의 활동 전위를 threshold 를 이용하여 찾았던 결과가 그림 3 이다. 이로부터 검출한 활동전위들을 unsupervised Bayesian classifier 를 이용하여 sorting 하였다. 그림 4 는 channel 1 의 활동 전위에 대한 sorting 결과이다. 이것은 활동전위의 신호 전체를 입력으로 해서 sorting 한 결과이며, 이것은 각 channel 에 대해서 sorting 된 unit 별로 spike time 의 형태로 저장이 된다.

IV. 결론

다채널 신경 신호를 실시간에 디스플레이, 저장하고 분석할 수 있는 시스템을 개발하였다. EEG 나 ECG 등의 생체신호분석에 사용되는 보통의 상용 시스템의 사용가능대역보다 훨씬 높은 10 kHz 에 이르는 주파수대역을 갖는 개구리 skin sensory nerve 로부터의 신경신호를 성공적으로 실시간 기록, 저장할 수 있었고 data 에서 신경의 활동전위를 검출하고 분류할 수 있었다. 신경생리학의 연구에 널리 활용되고 있는 상용 프로그램인 Harvey Box 와 비교하여 저장 속도와 출력면에서는 충분히 성능이 뛰어나며, 소프트웨어로 필터링하는 기능이 추가 되었고, 무선으로 전송이 가능하다는 점에서 뛰어나다고 할 수 있다. 앞으로 channel 의 수를 128 channel 까지 확장하고, 실시간에 detection 과 sorting

이 되고, 그 결과를 실시간으로 분석하는 신호처리 프로그램의 개발이 필요하다.

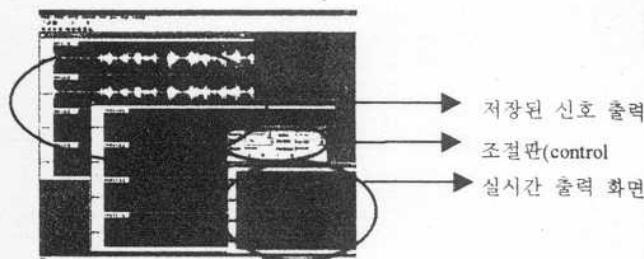


그림 2. 실시간 신호 획득 프로그램과 기록된 개구리의 감각 신경 활동 전위

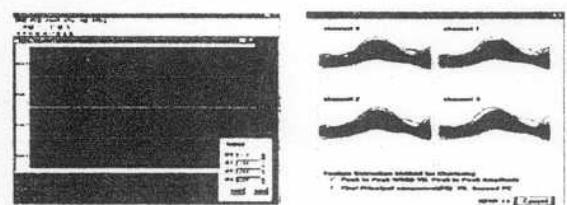


그림 3. threshold 를 이용해서 활동 전위 detection 과 그 결과

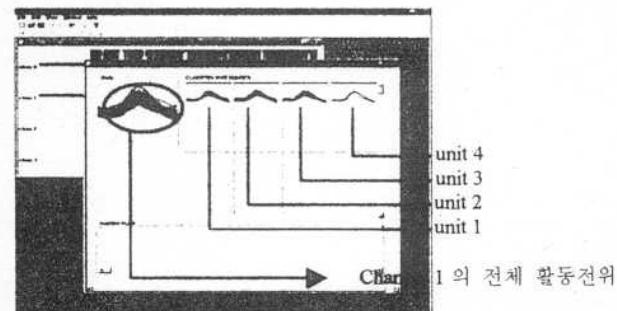


그림 4. Detection 된 활동 전위를 unsupervised sorting 한 결과

참고 문헌

- [1] Alan V. Oppenheim and Ronald W. Sachfer *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice Hall
- [2] K. H. Kim, S. J. Kim, 1999 IEEE EMBS-BMES Joint Conference
- [3] P. Cheeseman et al., 5th Inter. Conf. Machine Learning, pages 54-64, 1988.

본 연구는 보건복지부에서 시행한 '98 보건 의료 기술 연구 개발 사업'의 결과입니다.