**곽진 21900031**

**#1. Neuron 작용 원리 해석**

1. Neuron의 신호 전달에 대하여 상세히 설명하시오.
   1. Neuron 내부의 신호 전달에 생화학적인 설명에 대하여 설명하세요. (키워드: 이온, 칼륨, 나트륨, 활동 전위 등)

뉴런은 신경계의 기본 단위로, 신호의 전달 및 처리를 하는 조직이다. 뉴런 내부에서 신호 전달은 생화학적인(이온의 이동)과 전기 활동으로 이뤄져 있다. 뉴런 내부에 이온 채널이 존재하며 주요한 이온으로는 칼륨과 나트륨이 있다. 휴지 상태에서 뉴런 내부에는 칼륨 이온이 상대적으로 많고, 외부에는 나트륨 이온이 상대적으로 많다. 신체에 자극이 있을 시에 나트륨 통로가 열리게 되고 나트륨 이온의 유입이 일어나 탈분극이 발생하여 뉴런 내부가 양전하로 변하게 된다. 이 정도가 역치 값에 이르면 활동 전위가 생성된다. 활동 전위는 뉴런 내부의 나트륨 이온 채널이 닫히고 칼륨 이온 채널이 다시 열리면서 뉴런 내부에서 다시 칼륨 이온이 나가게 된다. 이로 인해 막전위가 원래 상태로 돌아가며 활동전위가 생성되고, 이를 통해 신호가 전달된다.

텍스트, 스크린샷, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure 뉴런의 구조

* 1. Synapse에서 들어오는 자극부터, 뉴런의 끝단까지 전기적인 신호가 전달되는 과정을 설명하세요.

시냅스는 뉴런과 뉴런, 뉴런과 다른 세포(근육 세포) 사이의 연결지점을 의미한다. 신경전달물질을 통해 신호는 화학적으로 전달되지만 시냅스에서 전기적인 신호로 전환된다.

전기적 자극이 시냅스에 도착되면, 전기 신호는 시냅스 끝에 위치한 소포에 저장된 신경전달물질로 전환된다. 또한 칼슘 이온의 진입에 의해 시냅스 소포는 시냅스 막과 융합하며, 신경전달물질을 시냅스 간극으로 방출한다. 칼슘 이온은 자극에 의해 열린 칼슘 채널을 통해 시냅스 말단 내로 유입된다. 신경전달물질은 시냅스 간극을 가로질러 다음 뉴런의 수상돌기로 전달된다. 시냅스 간극에 도달한 신호는 수상돌기가지로 수용되는데 이는 전기 신호로서 뉴런 내에 활동 전위로 전달된다. 이 활동 전위는 수상 돌기에서 축색돌기로 이동하며 전압 게이트된 이온채널을 통해 유발된다.

1. **Neuron RC Circuit Analysis**
   1. PPT의 Simplified Model (8page)과 Neuron RC Circuit Design (14page)을 비교한 뒤, 회로에서 각각의 이 실제 Neuron에서 뜻하는 바를 설명하세요.

(\* 는 14페이지의 을 뜻함)

Source transformation과 Thevenin’s/Norton’s equivalent circuit을 통하여 Fig 3의 회로를 간단한 등가회로로 변환하여 Fig 2와 같이 표현할 수 있다. Switch가 닫힌다면 저항이 있는 부분으로 전류가 흐르지 않기 때문에 전압이 모두 Capacitor에 충전된다. 이 스위치가 열리게 되면, 전압차로 인해 전류가 흐르며 capacitor에 방전된다. PWM을 자극이라 보았을 때 역치를 넘어, 분극/탈분극을 Capacitor의 충방전으로 표현한다. 는 Potential Divider 역할을 하기 위해 쓰이며, Capacitor에 저장된 전압에 따라 전류의 방향 및 크기가 결정된다. 는 뉴런 밖의 전압을 표현하기 위해 사용되었다.

또한 Simplified model과 Neuron RC model은 그 밖에도 차이가 있다. Neuron RC model은 Simplified model에 비해 더 복잡한 구조를 갖고 있으며, 그에 따라 신경계에 대한 표현을 더 자세하고 정확하게 표현할 수 있다. 신경계에 일어나는 거동특성과 역학을 수학적으로 모델링한 Neuron RC model을 최소화한 모델이 Simplified model이기 때문에 두 회로 모두 1차 미분방정식으로 표현될 수 있지만, Neuron RC model이 신체와 더 비슷한 특성을 띈다.

도표, 라인, 폰트, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure Simplified model.

도표, 라인, 텍스트, 스크린샷이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure Neuron RC circuit

* 1. 12페이지의 전체 시스템에서 기준 온도 값 이하/이상에서 input(thermistor 값)과 output(op-amp 끝단)을 plot으로 첨부하세요.

(\* C와 D는 5단계에 대해서 모두 나타낼 필요 없습니다! 펄스에 대해서 분석해주시면 됩니다.)

텍스트, 라인, 스크린샷, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명텍스트, 라인, 그래프, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

텍스트, 라인, 그래프, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명텍스트, 라인, 그래프, 도표이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

텍스트, 라인, 그래프, 스크린샷이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명텍스트, 라인, 그래프, 스크린샷이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Thermistor는 온도가 높아질수록 저항이 줄어, Thermistor에 인가되는 전압 또한 줄어드는 것을 알 수 있다. Thermistor의 전압이 낮아질수록(1단계에서 5단계까지) 단위 시간(20초) 당 임펄스의 개수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

2.7V 이상일 때, 0단계(무자극)를 보여주며, 2.3V이하일 때 5단계(큰 자극)를 나타낸다.

텍스트, 전자제품, 전기 배선, 전자 공학이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure 전체 시스템 실제 회로도

도표, 평면도, 기술 도면, 텍스트이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure 회로도

텍스트, 그래프, 도표, 라인이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure -1 Thermistor 전압

라인, 도표, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure 4-2 Thermistor 전압과 출력 전압 관계 plot

Fig 4-2에서 확인할 수 있듯이 약 2.4V 이하에서 PWM 출력의 주기가 빠르고 커지는 것을 볼 수 있다.

그 이상의 값에서는 PWM 출력 주기가 늦고, 그 크기가 작은 것을 관측할 수 있다.

Matlab 코드에서 확인해보면, Thermistor의 전압이 0.1V 감소할수록 단계에 변화가 생기는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 자극이 어떻게 신경계를 통해 인지할 수 있는지 알 수 있다.

* 1. 전체 시스템에서 14페이지의 Neuron RC circuit의 input과 Output을 plot으로 나타내고 이 circuit의 역할과 response를 분석하시오.

도표, 라인, 텍스트, 스크린샷이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure 5 Neuron RC Circuit의 Input과 Output

라인, 평행, 도표, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

PWM 전압원(최대 5V)이 어떤 주기를 갖는지 확인하고 그에 따른 Capacitor 음극단에 어떻게 전압이 걸리는지 관찰하였다. PWM에 반응하여, Capacitor는 충전과 방전을 하는 것을 관찰할 수 있다. Capacitor의 전압은 PWM이 값을 가질 때 양전압을 갖고 감소하는 것을 볼 수 있고, 이 외의 상황에서는 음전압에서 0으로 증가하는 추세를 확인할 수 있다.

* 1. 전체 시스템에서 16페이지의 Op-amp circuit의 input과 output을 plot으로 나타내고 이 circuit의 역할과 response를 분석하시오.

라인, 도표, 그래프이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Op-amp의 출력은 negative feedback되어 Op-amp 입력의 음극단으로 들어간다. 또한 출력은 2V를 유지하다가 입력이 2볼트를 넘길 때, 같이 반응하는 것을 관찰할 수 있다. 입력의 값이 출력의 값보다 커지지 않는 것을 또한, 그래프를 통하여 분석할 수 있었다. 본 회로는 자극으로 인해 역치(threshold) 값을 넘겨 활동 전위를 갖게 되고 랑비에 결절, 중추 신경계 등으로 신경물질이 전달되는 수용체 전위(receptor potential) 전도 역할로 추측된다. 자극이 일어난 부위에서 중추신경계를 통해 인간이 인지할 수 있도록, 이 신호가 뉴런을 타고 이동하는 것인데, 이는 뉴런 안의 구조에서도, 뉴런과 뉴런사이에서도 일어난다.

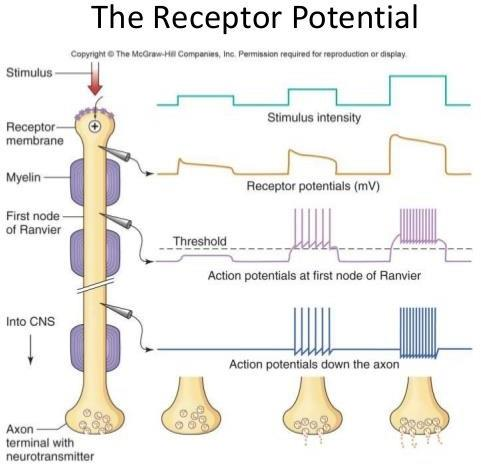


Figure 수용체 전위

도표, 라인, 텍스트, 평면도이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Figure OP-amp

1. **Hodgkin – Huxley Model**
   1. Hodgkin – Huxley 모델에 대하여 3 - 4줄로 설명하시오.

도표, 라인, 기술 도면, 평면도이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

뉴런에서 발생한 활동전위에 대해 수학적으로 해석되어 회로로 구현된 모델이다. 세포막을 통과하는 나트륨과 칼륨 이온의 흐름과 이온 채널(게이트)에 대해 설명하며, 신경계에서 발생하는 전기적 신호 메커니즘을 뉴런의 흥분에 관하여 설명하여 준다.

* 1. Cable Theory에 대해서 조사하고, 간략히 설명하여라

뉴런에서 전기 신호가 어떻게 전파되고, 어떤 전기적 특성이 있는지 설명하는 이론이다. 회로에 적용되는 전기법칙에 기반해 막 전위, 축중 저항, 막 capacitance와 같은 요소를 고려하여, 전기 신호 전파 및 감쇄되는 방식을 수학적으로 모델링하고, 이를 회로로 표현한다. 이 이론은 뉴런 신호의 전기적, 시간적 특성을 이해하기 쉽도록 설계되어 있다.

* 1. 실제 뉴런과 비교하였을 때, 시스템 적인 한계에 대하여 서술하시오.
     1. Hardware/software 비교

실제 신경계는 세포와 생물학적, 화학적인 반응을 거쳐 전기 신호를 전달하지만, Hodgkin-Huxley model은 전기소자로만 이뤄져 있으며, 전기 신호로 전기 신호를 제어한다.

* + 1. Threshold 관점

실제 신경계에서 역치는 그 값이 시냅스 입력, 네트워크 활동, 호르몬 수치에 따라 바뀔 수 있으나, Hodgkin-Huxley model의 역치 전압은 항상 고정 값을 갖는다.

* + 1. Action potential 관점

실제 뉴런에서 일어나는 반응의 복잡성과 다양성에 대하여 모두 회로로 표현하기 어렵다. 또한 세포의 종류에 따라 뉴런의 반응이나 활동전위가 다르고 다른 반응이 관측되기 때문에, 전기회로 시스템으로 이를 구현하는 것은 어렵다.

**Appendix**

|  |
| --- |
| **MATLAB Code** |
| %%  % Jin Week 10  % Jin Dev 1, Com5  % Hojin Dev 2, Com 6  delete(instrfindall)  close all; clear all; clc;  mydaq = daq.createSession('ni');  sampleRate = 1000; % Sample Rate  ts = 1/sampleRate;  buf\_size = 200; %buff size  time = 0: ts: (buf\_size-1)\*ts;  ai1 = addAnalogInputChannel(mydaq,'Dev1', 'ai0', 'Voltage'); %Thermistor Voltage %PWM\_in  ai2 = addAnalogInputChannel(mydaq,'Dev1', 'ai1', 'Voltage'); % Vout %V\_out  mydaq.Rate = sampleRate;  %mydaq.DurationInSeconds = op\_Time;  mydaq.NumberOfScans = buf\_size; % get array value using buffer  ai1.TerminalConfig = 'SingleEnded';  ai2.TerminalConfig = 'SingleEnded';  ai1.Range = [-10 10];  ai2.Range = [-10 10];  my\_arduino = serial('COM5');  fopen(my\_arduino); % open device & get info from opened serial device  set(my\_arduino, 'BaudRate', 9600); % Arduino uno, Communication speed    'starting'  all\_data = [];all\_data2 = []; all\_time = [];  %real time plotting  for i = 1: 100  data = [mydaq.startForeground]' %buf\_size data measured  time = (i-1)\*(buf\_size-1)\*ts: ts: i\*(buf\_size-1)\*ts;  data1 = data(1,:);  data2 = data(2,:);  all\_data = [all\_data data1];  all\_time = [all\_time time];  all\_data2 = [all\_data2 data2];  if 2.70 <= all\_data(end)  fprintf(my\_arduino, '%d', 9); %Arduino flag: 57  rgb = [1 0 0];  elseif 2.60 <= all\_data(end)  fprintf(my\_arduino, '%d', 5); %flag:49 1단계  rgb = [1 1 0];  elseif 2.50 <= all\_data(end)  fprintf(my\_arduino, '%d', 4); %flag:50 2단계  rgb = [1 0 1];  elseif 2.40 <= all\_data(end)  fprintf(my\_arduino, '%d', 3); %flag:51 3단계  rgb = [0 1 0];  elseif 2.30 <= all\_data(end)  fprintf(my\_arduino, '%d', 2); %flag:52 4단계  rgb = [0 0 1];  else  fprintf(my\_arduino, '%d', 1); %flag:53 5단계  rgb= [0 0 0];  end  pause(0.05);  plot(all\_time,all\_data2,"Color", rgb);  % legend('OPamp Out','OPamp in');  %axis([0 20 1.5 3])  drawnow  end |