



باسمه تعالی  
دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی برق

۲۵۶۴۵ - علوم اعصاب یادگیری، حافظه، شناخت - بهار ۹۹ - ۱۳۹۸

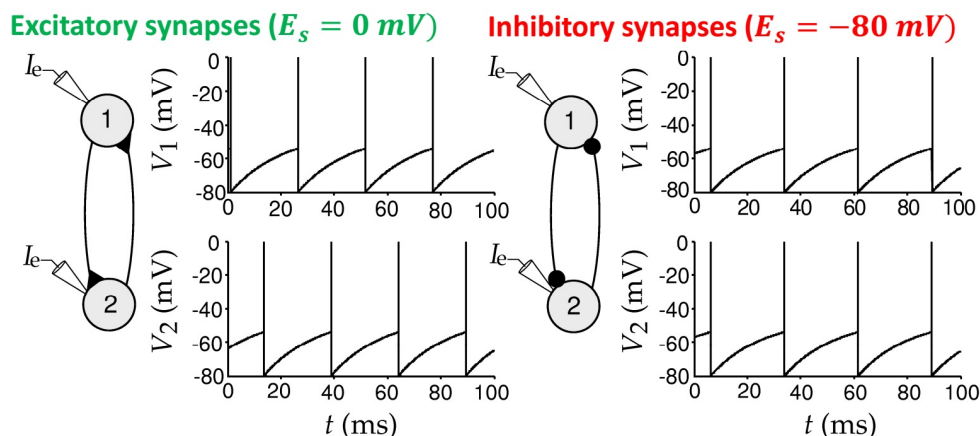
## تمرین سری سوم: شبیه‌سازی و تحلیل دینامیک شبکه‌های نورونی

موعد تحویل: جمعه ۱۹ اردیبهشت، ساعت ۲۳:۵۵

نحوه‌ی تحویل: کدهای پایتون و نتایج شبیه‌سازی خود را در کنار یک گزارش با فرمت pdf در سایت درس بارگذاری کنید. همچنین می‌توانید کدها و گزارش خود را در یک فایل Jupyter Notebook تحویل دهید. دقت کنید که ضروری است این کدها با استفاده از پکیج Brian پیاده‌سازی شده و بدون هیچ گونه خطایی قابل اجرا باشند.

### ۱ شبیه‌سازی شبکه‌ی نورونی با سیناپس‌های تحریکی و مهاري

در این قسمت به شبیه‌سازی مدل نورونی ارائه شده در صفحات ۳۵ تا ۳۷ سری اول اسلایدهای فصل دوم می‌پردازیم. این مدل از دو نورون تشکیل می‌شود که به صورت مهاري یا تحریکی به یکدیگر متصل هستند (شکل ۱).



شکل ۱: نورون‌های دارای اتصالات تحریکی یا مهاري

پتانسیل نورون‌های تحریکی و مهاري از معادله‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = (I_e R_m - (V - E_l) - g_s(t)(V - E_s)r_m) / \tau_m \quad (1)$$

که در آن مقادیر پارامترها به صورت زیر است:

$$\tau_m = 20 \text{ ms}, E_l = -70 \text{ mV}, I_e R_m = 25 \text{ mV}, V_{\text{threshold}} = -54 \text{ mV}, r_m = 10 \text{ M}\Omega$$

دینامیک مربوط به رسانایی سیناپس‌ها در هر دو نوع نورون را به صورت:

$$\frac{\partial g_s}{\partial t} = -g_s / \tau \quad (2)$$

در نظر گرفته و در آن مقدار  $\tau$  را برابر  $10 \text{ ms}$  قرار دهید. مقدار  $E_s$  در حالت تحریکی و مهاري به ترتیب برابر  $0 \text{ mV}$  و  $-80 \text{ mV}$  است.

۱. بدون در نظر گرفتن عبارت مربوط به اتصال سیناپسی، مدل تک نورونی با رابطه‌ی

$$\frac{\partial V}{\partial t} = (I_e R_m - (V - E_l)) / \tau_m \quad (3)$$

را پیاده‌سازی کرده و مقدار اولیه‌ی متغیر حالت  $V$  را با  $E_l$  مقداردهی کنید. مقدار متغیر حالت را برای مدت زمان  $100 \text{ ms}$  ثبت کرده و نمایش دهید. توجه کنید این عبارت شامل دینامیک اسپایک نیست و اسپایک را باید به هنگام تعریف NeuronGroup مشخص نمایید. بعد از هر اسپایک مقدار متغیر حالت را بر روی  $-80 \text{ mV}$  بازنشانی کنید.

۲. در این قسمت دو نورون مهاری متصل به هم را شبیه‌سازی کنید. برای این کار لازم است معادله‌ی رسانایی سیناپسی را به صورت معادله دیفرانسیل به هنگام تعریف معادلات نورون تعریف نمایید. برای تعریف سیناپس از Synapses استفاده کرده و اتصالات را مشخص نمایید. لازم است تغییراتی که در رسانایی مربوط به نورون‌های postsynaptic رخ می‌دهد را با آرگومان on\_pre مشخص کنید. در این شبیه‌سازی برای مدل کردن پاسخ سیستم به قطار اسپایک‌ها کافی است به هنگام وقوع هر اسپایک، رسانایی نورون postsynaptic به اندازه‌ی  $5 \text{ n}\Omega^{-1}$  بیشتر شود. همچنین آرگومان delay که نشان دهنده‌ی تاخیر اعمال این تغییرات بعد از اسپایک است را با مقدار  $10 \text{ ms}$  مقداردهی کنید. در صورت درست تعریف شدن دینامیک این رسانایی در معادلات نورون، بعد از هر اسپایک مقدار آن افزایش ناگهانی داشته و سپس به مرور و با توجه به ثابت زمانی آن به صفر باز می‌گردد.

مقدار اولیه متغیرهای حالت دو نورون را با  $-60 \text{ mV}$  و  $-80 \text{ mV}$  مقداردهی کنید. بعد از اجرای شبیه‌سازی این مدل به مدت زمان یک ثانیه، نمودار تغییرات پتانسیل دو نورون را در یک بازه‌ی زمانی  $100 \text{ ms}$  از ابتدا و انتهای شبیه‌سازی نمایش دهید. همچنین میزان رسانایی سیناپسی ( $g_s$ ) یکی از نورون‌ها به همراه تغییر پتانسیل آن نورون را در مدت زمان  $100 \text{ ms}$  رسم نمایید. اگر ثابت زمانی رسانایی سیناپس یک چهارم این مقدار باشد، چه تغییری در نرخ اسپایک‌ها به وجود می‌آید؟

۳. شبیه‌سازی قسمت قبل را برای نورون‌های مهاری تکرار کنید. چه تفاوت‌هایی در نتایج مشاهده می‌کنید؟ دلیل این تفاوت‌ها چیست؟

## ۲ بررسی پایداری در سیستم تحریکی-مهاری بازگشتی

در این قسمت به بررسی مدل ارائه شده در صفحات ۲۲ تا ۳۷ سری سوم اسلایدهای فصل دوم می‌پردازیم. این مدل شامل دو جمعیت مهاری و تحریکی (شکل ۲) است که برای سادگی آن‌ها را به صورت دو نورون در نظر می‌گیریم.



شکل ۲: مدل تحریکی-مهاری

این دو نورون معادله‌های متفاوت زیر را دارند:

$$\frac{\partial \nu_E}{\partial t} = (-\nu_E + [M_{EE}\nu_E + M_{EI}\nu_I - \gamma_E]_+) / \tau_E \quad (4)$$

$$\frac{\partial \nu_I}{\partial t} = (-\nu_I + [M_{IE}\nu_E + M_{II}\nu_I - \gamma_I]_+) / \tau_I \quad (5)$$

که در آن:

$$\tau_E = 10 \text{ ms}, M_{EE} = 1.25, M_{EI} = -1, \gamma_E = -10 \text{ Hz}, M_{IE} = 1, M_{II} = 0, \gamma_I = 10 \text{ Hz}$$

می‌باشد. دقت کنید در معادلات بالا متغیر حالت مورد بررسی، پتانسیل نورون‌ها نبوده و نرخ اسپایک آن‌هاست. به دلیل وجود متغیر حالت هر نورون در معادله‌ی نورون دیگر لازم است این متغیرها به صورت linked تعریف شده و با استفاده از دستور linked\_var متغیرهای مرتبط با هم مشخص شوند<sup>۱</sup>. با تعریف معادلات به صورت بالا متغیرهای حالت نورون‌ها به یکدیگر کوپل شده و برای حل معادلات با در نظر گرفتن ارتباط نورون‌ها دیگر نیازی به تعریف سیناپس وجود ندارد. برای مشخص کردن قسمت غیر خطی معادله هم می‌توانید از تابع clip استفاده کنید.

۱. میزان  $\tau_I$  را برابر  $30\text{ ms}$  قرار دهید و هر دو متغیر حالت را با 50 مقداردهی اولیه کنید. مدل را برای محدوده‌ی زمانی مناسبی شبیه‌سازی کرده و مقادیر متغیرهای حالت را ثبت کنید. با استفاده از توابعی که در تمرین گذشته در اختیارتان قرار داده شد منحنی‌های nullcline و شارهای میدان را در یک محدوده‌ی مناسب از صفحه فاز رسم نمایید. همچنین با استفاده از تابع phaseplane\_animation تغییرات دو متغیر حالت را به صورت انیمیشن نمایش دهید.

۲. با حذف قسمت غیر خطی معادلات را به صورت خطی درآورید. حال میزان  $\tau_I$  را برابر  $50\text{ ms}$  و خواسته‌های قسمت قبل را تکرار کنید.

۳. قسمت قبل را برای حالتی که معادلات غیرخطی هستند تکرار نمایید. چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آن چیست؟

۴. آزمایش را دو بار دیگر و با مقداردهی متفاوت و دلخواه به مقادیر پارامترها تکرار کنید و مشاهدات خود را گزارش کنید.

<sup>۱</sup> برای اطلاعات بیشتر توضیحات این لینک را مطالعه نمایید.