

سوال (1)

آ: از میان مدلسازی های صورت گرفته از مکانیزم های نورو ن ها، به دلایل شرح داده شده در ادامه، برای بررسی تاثیر داروی X در سطح نورو ن، مدل Hodgkin-Huxley را انتخاب می کنیم. این دارای مکانیزمی برای تولید پتانسیل های عمل (action potentials) می باشد. قابلیت ترکیب حجم زیادی از داده های عصبی را دارا می باشد. از طرفی می توان با استفاده از این مدل سازی، متغیرهایی مثل احتمال باز یا بسته بودن کانال و یا جریان یون های تکی مانند Na^+ و یا K^+ که اندازه گیری آن ها به آسانی میسر نمی باشد را مقدارشان را اندازه گیری کرد. همچنین می توان پیش بینی های واقعی مانند شرایط کنترل کننده زمان شروع پتانسیل عمل (action potential) را بر اساس اطلاعات عصبی موجود انجام داد. بنابراین به طور کلی، مدل Hodgkin-Huxley برخلاف بالا بردن هزینه های محاسباتی، مدلسازی ای از تک نورو ن می باشد که برای بررسی تاثیرات داروها، دارای نتایجی دقیق و قابل اتکا می باشد.

ب: مدل Izhikevich می تواند در این وضعیت مفید باشد. این مدل با توانایی مدل سازی فعالیت های واقعی نورو ن ها با هزینه محاسباتی کم، برای مدل سازی شبکه های بزرگی از نورو ن ها سودمند می باشد. همچنین، این مدل در بررسی دقیق ترکیبی از نورو ن ها و رفتارهای dynamic آنها، مانند رفتار شبکه های غالب در بین سیستم های بیولوژیکی، نیز کاربرد دارد. برای مثال، در زمینه مطالعاتی مرتبط با فعالیت مغز انسان، استفاده از مدل Izhikevich در رابطه با فعالیت های مختلف نورو نی و شناخت ویژگی های رفتاری مغز نتایج قابل اتکایی را به دست داده است.

سوال (2)

الف: غلاف میلین یک لایه چربی و عایقی است که اطراف آکسون نورو ن را در بر می گیرد. آکسون، بخش بلند و نازک نورو ن است که سیگنال های الکتریکی را از cell body دور می کند. غلاف میلین از سلول های ویژه ای به نام oligodendrocytes در سیستم عصبی مرکزی و Schwann cells در سیستم عصبی حرکتی تشکیل شده است.

هنگامی که سیگنال الکتریکی، که به عنوان پتانسیل اکشن شناخته می شود، در طول آکسون نورو ن حرکت می کند، ممکن است به طور قابل توجهی کند شود یا حتی از بین برود. غلاف میلین از طریق عایق بندی آکسون و افزایش سرعت انتقال سیگنال به حل این مشکل کمک می کند.

غلاف میلین این کار را با ایجاد شکاف های کوچک در نودهای Ranvier معروف هستند، انجام می دهد. سیگنال الکتریکی از یک نود به نود دیگر پرش می کند، فرایندی که به عنوان Ranvier نامی شناخته می شود. این حرکت به سیگنال اجازه می دهد که با سرعتی بسیار بیشتر منتقل شود. سرعتی که سیگنال می تواند در طول آکسون منتقل شود، به طور مستقیم با ضخامت غلاف میلین و فاصله بین نودهای Ranvier بستگی دارد. غلاف میلین همچنین به کاهش احتمال انتشار سیگنال الکتریکی به نورو ن های مجاور یا نشت به سیال بیرونی کمک می کند. این باعث می شود که سیگنال به صورت صحیح و در زمان مناسب به نورو ن یا فیبر عضله مقصد برسد.

علاوه بر نقش آن در افزایش سرعت و دقت انتقال سیگنال، غلاف میلین نقش حیاتی در توسعه و نگهداری سیستم عصبی دارد. به عنوان مثال، جهش در ژن‌هایی که برای پروتئین‌های مرتبط با تشکیل یا نگهداری میلین کد می‌شوند، می‌تواند منجر به بروز اختلالات عصبی مختلف شود، مانند اسکروز چندگانه، لئوکودیستروفی‌ها و بیماری شارکو-ماری-توت.

به طور کلی غلاف میلین یکی از اجزای حیاتی سیستم عصبی است که به حفظ ارتباطات کارآمد و دقیق بین نورون‌ها کمک می‌کند. با عایق‌بندی آکسون و افزایش سرعت انتقال سیگنال، غلاف میلین به کنترل سرعت، حس و فرآیندهای شناختی با سرعت و دقت بالا کمک می‌کند.

ب: نورونی که بین مغز و عضلات پا ارتباط برقرار می‌کند، برای انتقال سریع پیام در فواصل بلند، نیاز به آکسون بلند دارد، بنابراین این نورون باید آکسونی با طول بیشتر از آکسون نورون دیگر داشته باشد. در نتیجه نورونی که بین مغز و عضلات پا ارتباط دارد، آکسونی به طول 5 سانتی متر دارد.

سوال 3

در واقع، در سلول‌های مویی شنوایی، درگاه‌هایی مکانیکی وجود دارند که به آن‌ها اجازه می‌دهند تا به امواج صوتی پاسخ دهند. زیرا امواج صوتی شکل این سلول‌ها را تغییر می‌دهند و این درگاه با تغییر شکل سلول باز و بسته می‌شوند. در نتیجه، پاسخ سلول‌های مویی شنوایی به امواج صوتی از طریق درگاه‌های مکانیکی انجام می‌شود.

سوال 4

④

$$t \begin{cases} t < t^f \Rightarrow \frac{dn}{dt} = -\frac{n}{\tau_n} \rightarrow n = ce^{-t/\tau_n} \\ t = t^f \Rightarrow \frac{dn}{dt} = \frac{(-n + \delta(t-t^f))}{\tau_n} \rightarrow n = \frac{ce^{-t/\tau_n}}{\tau_n} \end{cases}$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{I}{\tau_s} + \left(\frac{I_0}{\tau_n \tau_s}\right) e^{-t/\tau_n}$$

$$I_c = -C_0 e^{-t/\tau_s},$$

$$I_p = C_1 e^{-t/\tau_n} \rightarrow C_1 = -\frac{I_0}{\tau_s}$$

$$\rightarrow I(t) = -C_0 e^{-t/\tau_s} + C_1 e^{-t/\tau_n} \rightarrow du = \frac{RI(t) - U}{\tau_m}$$

سوال 5)

پیاده‌سازی و تحلیل مدل Leaky Integrate-and-Fire در PyTorch

Abstract

در این بخش، ما مدل Leaky Integrate-and-Fire (LIF) را در PyTorch پیاده‌سازی و تحلیل کردیم. مدل LIF یک مدل ریاضی استفاده شده برای شبیه‌سازی پاسخ نوروها به تحریک‌های ورودی می‌باشد. ما مدل LIF را با استفاده از کلاس LIF() با پارامترهای قابل تنظیم پیاده‌سازی کردیم و آن را تحت شرایط مختلفی، از جمله جریان‌های سینوسی ثابت و نویزی آزمایش کردیم. همچنین، ما اثر پارامترهای مختلف مدل بر الگوهای اسپایک تولید شده را تحلیل کردیم. یافته‌های ما

نشان می‌دهند که فرکانس اسپایک‌ها با افزایش آمپلیتود جریان و مقادیر نزدیک پتانسیل `rest` و `action` افزایش می‌یابد.

Introduction

مدل `Leaky Integrate-and-Fire (LIF)` یک مدل عصبی ساده‌شده است که رفتار یک نورون در پاسخ به تحریک‌های ورودی را شبیه‌سازی می‌کند. در این مطالعه، ما مدل `LIF` را در `PyTorch` با استفاده از کلاس سفارشی `LIF()` پیاده‌سازی کردیم که امکان دستکاری پارامترهای مدل را فراهم می‌کند. سپس، ما پاسخ مدل `LIF` را تحت شرایط مختلفی، از جمله جریان‌های ثابت مختلف (`Sign Currents`) و جریان‌های سینوسی نویزی (`Noisy Sine Currents`) بررسی کردیم. علاوه بر این، ما اثر پارامترهای مختلف مدل بر الگوهای اسپایک تولید شده توسط مدل `LIF()` را تحلیل کردیم.

Methods

● پیاده‌سازی مدل `LIF()`

ما مدل `LIF` را با استفاده از کلاس `LIF()` با پارامترهای قابل تنظیم در بخش اول نوبت‌بوک پیاده‌سازی کردیم. علاوه بر این، ما کلاس `CurrentDataset` را که از کلاس `torch.utils.data.Dataset` ارث‌بری می‌کند برای تولید یک مجموعه داده برای مدل `LIF` از داده‌های جاری پیاده‌سازی کردیم.

● `Sign Current`

ما پاسخ مدل `LIF` را به پنج جریان ثابت مختلف (`Sign Currents`) با استفاده از روش `current_df_gen()` بررسی کردیم. این روش برای یک جریان نشانه با مقدار جریان ثابت و زمان شروع مشخص، یک `dataframe` برمی‌گرداند. هر گام زمانی در تمام بخش‌های کد، 0.03125 ثانیه است. ما نمودارهای جریان-زمان، نقطه‌های اسپایک و نمودارهای پتانسیل-زمان را برای هر مقدار جریان ایجاد کردیم.

● `Noisy Sine Currents`

روش `noisy_cur()` یک `dataframe` برای یک جریان سینوسی نویزی با انحراف معیار داده‌شده برای تولید نویز بر اساس توزیع نرمال و آمپلیتود و فرکانس یک تابع سینوسی ایجاد می‌کند. ما آمپلیتودها و مقادیر انحراف معیار نویز را آزمایش کردیم تا تأثیر آن‌ها بر رفتار مدل `LIF` را مشاهده کنیم. آمپلیتودهای بالا تعداد اسپایک‌ها و

فرکانس آن‌ها را افزایش داد، در حالی که نویزهای داده‌شده تأثیر کمی بر شکل نمودار پتانسیل-زمان داشتند بدون اینکه رفتارهای اصلی را مانند تولید اسپایک تغییر دهند.

• Parameter Exploration

ما مدل LIF را با پنج مجموعه پارامتر تعریف و آزمایش کردیم و پاسخ آن را به جریان‌های نشانه و سینوسی نویزی بررسی کردیم. ما اثر مقادیر مختلف پتانسیل استراحت و آستانه بر فرکانس اسپایک‌های تولید شده توسط مدل را تحلیل کردیم.

Concolusion

نتایج ما نشان می‌دهند که فرکانس اسپایک‌های تولید شده توسط مدل LIF با افزایش آمپلیتюд جریان افزایش می‌یابد. علاوه بر این، ما مشاهده کردیم که مقادیر نزدیک پتانسیل استراحت و آستانه منجر به فرکانس‌های بالاتر اسپایک می‌شوند. نویزهای داده‌شده در جریان‌های سینوسی نویزی تأثیر کمی بر رفتار کلی مدل LIF داشتند، به این معنی که مدل می‌توانست رفتارهای اصلی خود را با وجود نویز در جریان ورودی حفظ کند.