

گزارش پژوهه اول علوم اعصاب محاسباتی

امیرحسین انتظاری

۱۴۰۳ فروردین ۱۱

فهرست مطالب

۱	پیاده سازی ساز و کار سیناپس	۱۰
۱	بررسی رفتار درون یک جمیعت نورونی	۱۱۰
۵	بررسی رفتار دو جمیعت نورونی	۲۱۰
۹	الگوهای ارتباطی	۲۰

چکیده

هدف از این پژوهه، پیاده سازی سیناپس و جمعیت نورونی، و همچنین بررسی رفتار های آن ها می باشد. در این پژوهه ابتدا ساز و کار سیناپسی را با استفاده از تابع دلتای دیراک^۱ پیاده سازی میکنیم، سپس سه الگوی ارتباطی بین نورون ها را پیاده سازی کرده و با انجام آزمایش های مناسب ویژگی های هر یک را بررسی میکنیم. سپس این الگو های ارتباطی را بین جمعیت های نورونی مختلف قرار داده و آن ها را بررسی میکنیم. در نهایت نیز سه جمعیت نورونی به همراه سیناپس های آن ها درست کرده و تاثیر آن ها بر یک دیگر را مشاهده می کنیم.

۱۰. پیاده سازی ساز و کار سیناپس

در این بخش، میخواهیم ساز و کار سیناپس را با استفاده ازتابع دلتای دیراک^۲ پیاده سازی کنیم. جزئیات پیاده سازی در فایل های کد آماده است و فقط در اینجا به نحوه پیاده سازی و همچنین آزمایش آن با یک و دو جمعیت نورونی می پردازیم.

طبق لینک داده شده، در تجزیه و تحلیل ریاضی، تابع دلتای دیراک (یا توزع^۳)، همچنین به عنوان تکانه واحد شناخته می شود، یک تابع تعمیم یافته بر روی اعداد واقعی است که مقدار آن در همه جا صفر است به جز صفر، و انتگرال آن در کل محور حقیقی برابر یک است.^۴

از این رو برای پیاده سازی آن به این صورت عمل میکنیم که ابتدا یک ماتریس به نام W به ابعاد تعداد نورون های پیش سیناپسی (m) در تعداد نورون های پس سیناپسی (n) ایجاد میکنیم که ماتریس وزن های سیناپس ما را تشکیل می دهد. ($W_{m \times n}$) در هر تکرار^۴ از شبیه سازی، اندیس نورون های پیش سیناپسی که در تکرار قبلی ضربه^۵ زده اند را در یک متغیر مانند `pre_spike` ذخیره کرده، و از ماتریس وزن ها (W) سطر هایی که ضربه زده اند را جدا کرده و سپس برای هر یک از نورون های پیش سیناپسی و اندیس متناظر، مجموع این وزن ها را حساب کرده و به عنوان جریان سیناپسی ورودی آن نورون در نظر میگیریم و در متغیر مانند `I_sg` ذخیره میکنیم. حال باید این جریان را به جریان نورون های پس سیناپسی اضافه کنیم، اینکار میتواند به راحتی توسط یک رفتار^۶ به نام دندرایت پیاده سازی شود که در هر تکرار، جریان سیناپسی را به علاوه جریان ورودی نورون می کند:

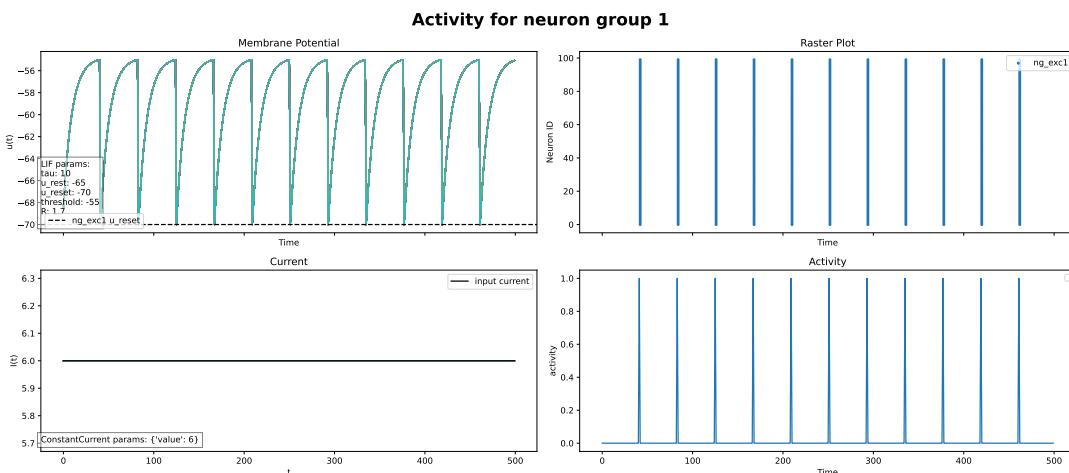
$$I_{ng}(t) = I_{sg}(t-1) + I_{sg}(t) \quad (1)$$

حال به بررسی رفتار یک یا دو جمعیت نورونی، با پارامتر های مختلف می پردازیم. در این قسمت فقط الگوی ارتباط کامل را بررسی میکنیم و بررسی دقیق تر^۳ الگو را به بخش دوم پروژه واگذار میکنیم.

۱۱.۰ بررسی رفتار درون یک جمعیت نورونی

جمعیت نورونی بدون سیناپس

برای درک بهتر ساز و کار سیناپس ها، بهتر است ابتدا تاثیر آن را درون یک جمعیت نورونی به تنهایی بررسی کنیم. از این رو اول رفتار یک جمعیت را بدون حضور سیناپس و سپس در حضور سیناپس، بعد گذشت تکرار مشاهده میکنیم. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می کنید، هنگامی که یک جریان ثابت به یک گروه نورونی یکسان وارد می شود، زمان ضربه زدن تمامی نورون ها در یک لحظه اتفاق میفتد. دلیل این رفتار بدیهی است و بخارط این است که از آنجا که نورون ها مقادیر یکسانی در هنگام شروع دارند و همچنین جریان یکسانی دریافت می کنند، زمان ضربه زدن آن ها نیز مشابه خواهد بود.

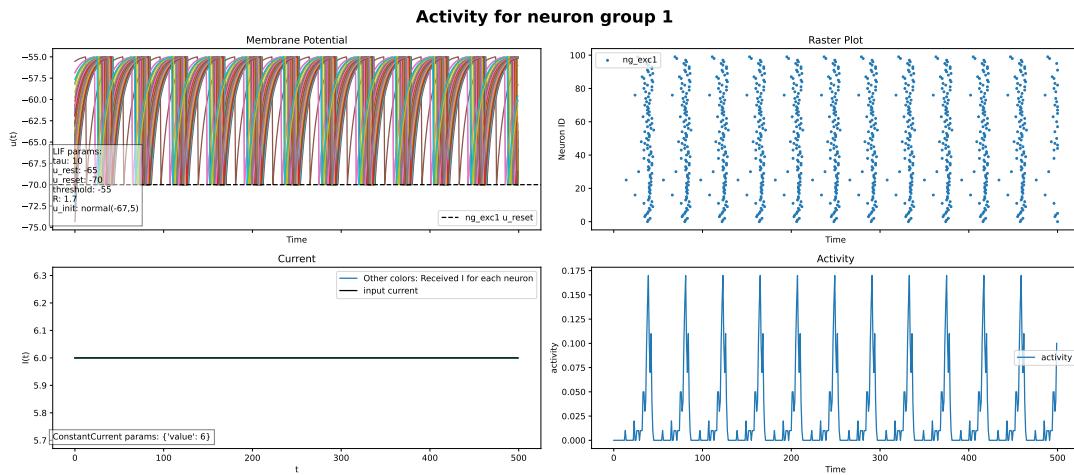


شکل ۱: جمعیت نورونی بدون سیناپس

حال باید مقادیر اولیه نورون ها مانند اختلاف پتانسیل اولیه آن ها را تغییر دهیم تا رفتار آن ها را ببینیم. برای اینکار، اختلاف پتانسیل اولیه نورون ها را در حدود بازه ۶۷ با واریانس ۲ توزیع میکنیم. همانطور که در شکل ۲ نیز مشاهده می کنیم، نورون ها در ابتدا با یک اختلاف

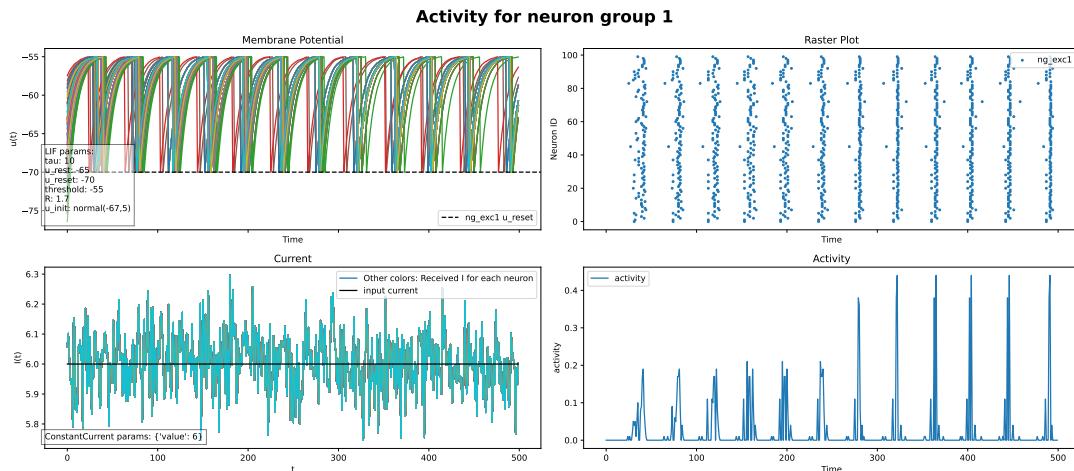
۱ Delta Dirac function^۳
۲ ویکی پدیا^۴
۳ iteration^۵
۴ spike^۶
۵ Behavior^۶

پتانسیل متفاوت شروع به فعالیت میکنند و از آنجا که جریان ورودی به آن ها نیز یکسان است، فواصل ضربه زدن خود را حفظ میکنند و با همان فواصل به ضربه زدن ادامه می دهند. در نتیجه فعالیت کلی جمعیت، به صورت دوره ای تکرار خواهد شد.



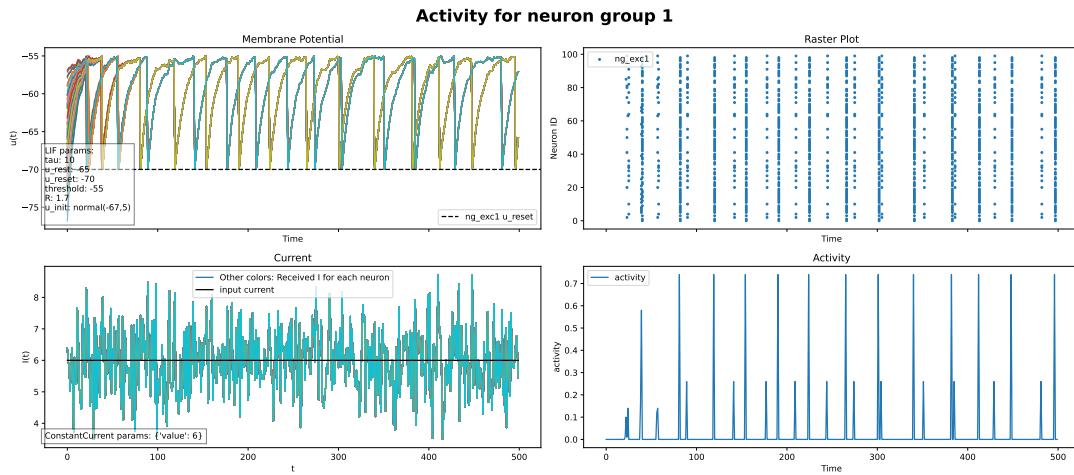
شکل ۲: جمعیت نورونی بدون سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت

حال اگر به همین جمعیت یک جریان نویز دار اضافه کنیم چه اتفاقی می افتد؟ برای اینکار یک رفتار (Behavior) به نام `NoiseCurrent` تعریف میکنیم که وظیفه آن اضافه کردن نویز به جریان نورون باشد. مقدار این نویز را یک جریان رندوم با میانگین ۰ و واریانس ۱۰۰ می دهیم. همانطور که در شکل ۳ مشاهده میکنیم، به دلیل اضافه شدن نویز، الگوی فعالیت نورون ها در بازه هایی که ضربه میزند رفته رفته تغییر کرده و الگوی خود را از دست می دهد. هر چند اگر میزان این نویز خیلی زیاد باشد، می تواند برآیند جریان ورودی را زیاد کرده، به نحوی که رفتار نورون ها پس از مدتی مشابه شود. (شکل ۴)

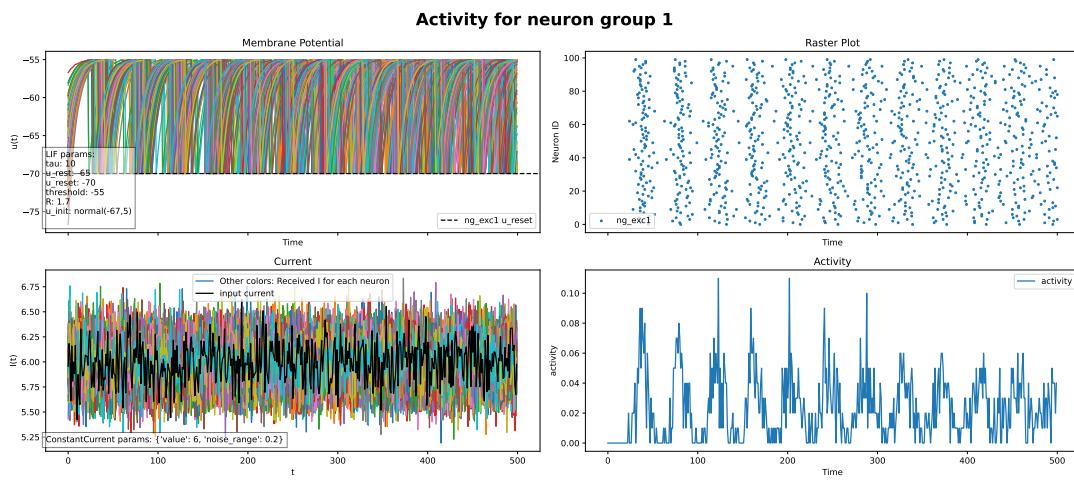


شکل ۳: جمعیت نورونی بدون سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویزی

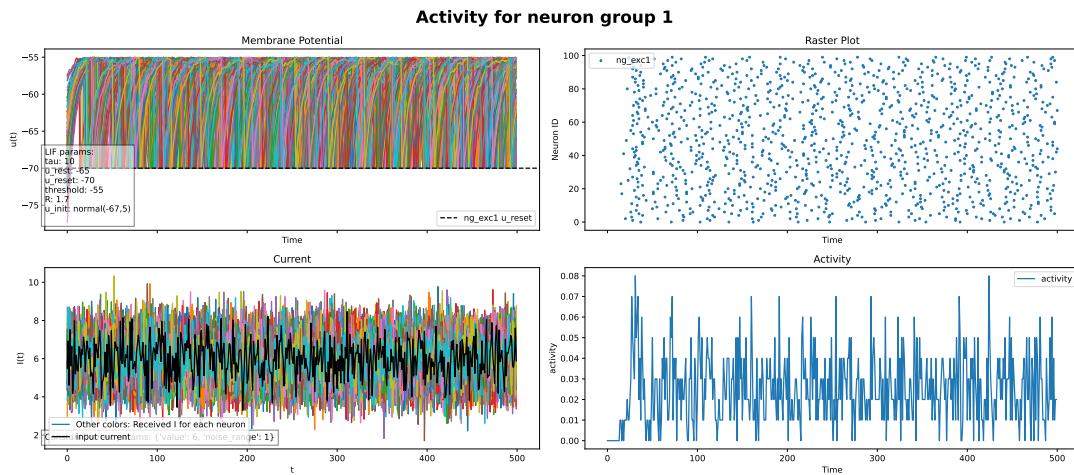
حال فعالیت جمعیت نورونی را با جریان متفاوت برای هر نورون آزمایش میکنیم تا رفتار آن ها را بر این اساس نیز مشاهده کنیم. برای اینکار، جریان ورودی به جمعیت نورونی را با واریانس ۰.۲ اضافه میکنیم. همانطور که در شکل ۵ مشاهده میکنیم، تغییر دادن جریان ورودی به ازای هر نورون، زمان ضربه زدن هر نورون را از دیگری نسبت به حالت های قبل بیشتر متفاوت می کند و در نتیجه، پراکندگی زمان فعالیت نورون ها بیشتر می شود. همچنین اضافه کردن واریانس بیشتر میتواند پراکندگی را آنقدر افزایش دهد تا تشخیص یک الگو برای زمان ضربه زدن نورون ها بسیار سخت تر شود (شکل ۶)



شكل ٤: جماعت نوروني بدون سيناپس: اختلاف پتانسييل اوليه متفاوت و جريان نويزي زياد



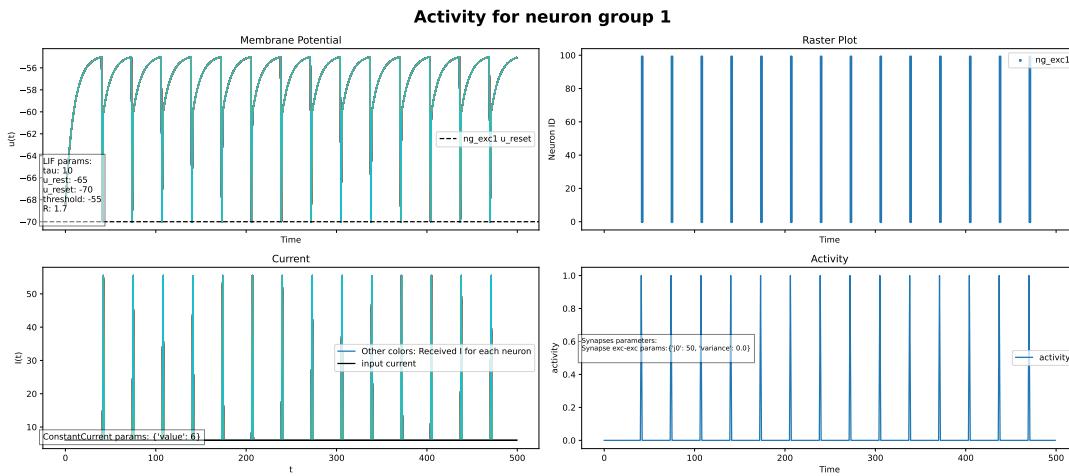
شكل ٥: جماعت نوروني بدون سيناپس: جريان ورودي متفاوت



شكل ٦: جماعت نوروني بدون سيناپس: جريان ورودي با تفاوت زياد

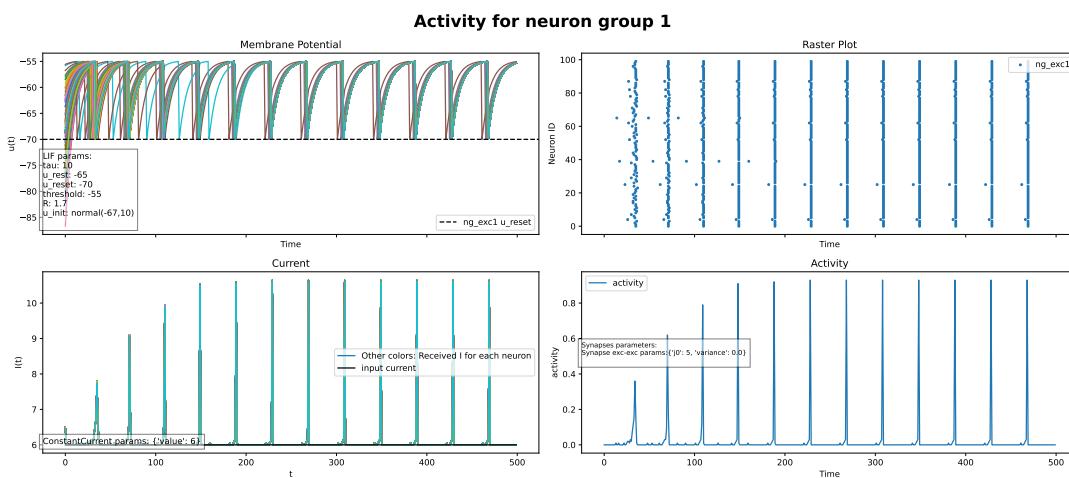
جمعیت نورونی به همراه سیناپس

حال که تاثیر انواع متفاوت جریان را بر یک جمعیت نورونی بررسی کردیم، به سراغ اضافه کردن سیناپس به آن میرویم. برای سادگی، سیناپس را با الگوی ارتباط کامل⁷ بررسی میکنیم و بررسی الگوهای دیگر را به بخش دوم پردازه و اگذار میکنیم. در ابتدا نیز وزن‌های سیناپسی را کامل یکسان با $j_0 = 0$ و $\sigma = \sigma$ در نظر میگیریم و سپس به آن واریانس اضافه میکنیم. همانطورکه در شکل ۷ ملاحظه میکنیم، در یک جمعیت نورونی به همراه سیناپس داخلی، که نورون‌ها نیز در زمان اولیه اختلاف پتانسیل یکسانی دارند، رفتار جمعیت همانند هنگامی است که سیناپس وجود نداشته باشد. این به این دلیل است که در این حالت، قبل از اولین ضربه سیناپس تاثیری ندارد و رفتار نورون همانند جمعیت بدون سیناپس با جریان ورودی ثابت است. از این رو اختلاف پتانسیل نورون‌ها به طور همزمان افزایش می‌یابد تا هنگامی که به آستانه رسیده و نورون‌ها همزمان ضربه می‌زنند. در این لحظه، بلاقلاً جریان سیناپسی نیز به جریان دریافتی نورون اضافه می‌شود و از آنجا که سیناپس ارتباط کامل است، زمان ضربه زدن نورون‌ها تغییری پیدا نمی‌کند.



شکل ۷: جمعیت نورونی با سیناپس: جریان ثابت

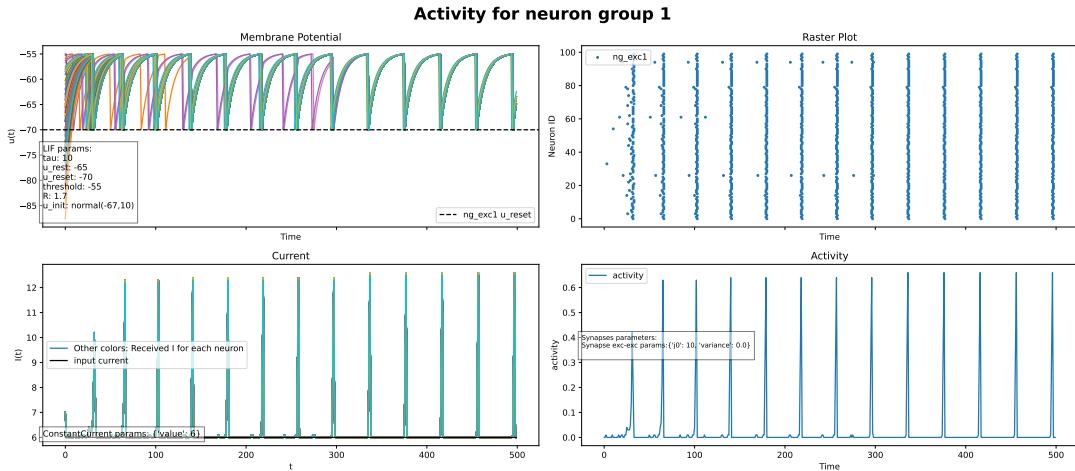
حال اگر اختلاف پتانسیل اولیه نورون‌ها را متفاوت مقدار دهی کنیم، مطابق شکل ۸ میبینیم که زمان ضربه زدن نورون‌ها متفاوت می‌شود. هر چند پس از مدتی، به دلیل اضافه شدن جریان سیناپسی به جریان ورودی نورون و درنتیجه افزایش یافتن جریان دریافتی نورون، این اختلاف زمانی ضربه‌ها نیز کمتر می‌شود. افزایش مقدار j_0 به 10° نیز زمان این همگرایی را سریع تر می‌کند. (شکل ۹)



شکل ۸: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت

حال واریانس وزن‌های سیناپسی را از 0° بیشتر میکنیم، تا تاثیر این پارامتر را بر روی رفتار جمعیت ملاحظه کنیم. انتظار داریم که افزودن پراکنده‌گی به وزن‌ها باعث پراکنده‌گی زمان ضربه زدن نورون‌ها نیز بشود. شکل

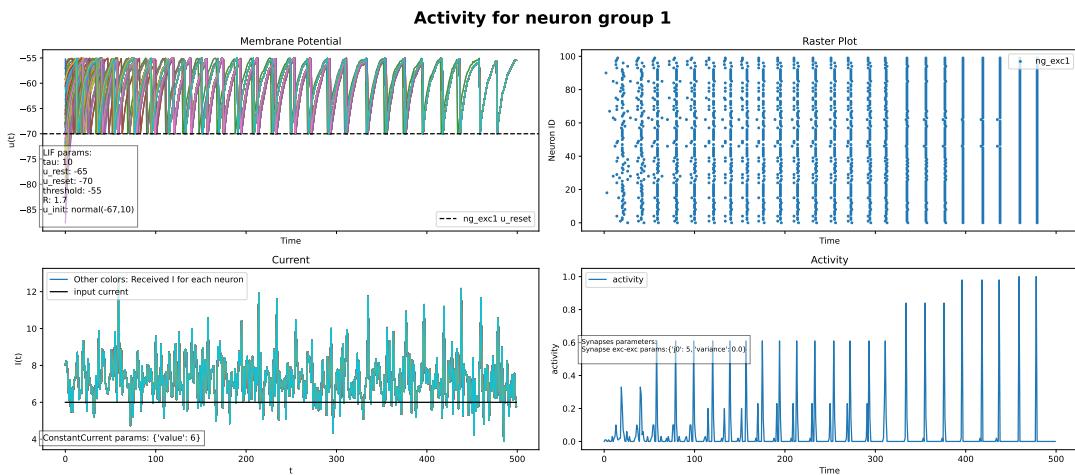
full connectivity⁷



شکل ۹: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و وزن های بیشتر

این موضوع را تایید میکند و ملاحظه می شود که فعالیت نورون ها مانند شکل قبل همگرا نشده و بالا و پایین می شود (در نهایت بین مقادیر ۶۰ و ۸۰ نوسان می کند).

بعد از بررسی پارامتر های سیناپس، نوبت به بررسی تاثیر جریان بر روی سیناپس می رسد. مطابق زیربخش قبل، در ابتدا رفتار جمعیت را با جریان نویزی یکسان برای همه نورون ها بررسی میکنیم. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، در ابتدا، زمان ضربه زدن نورون ها با یکدیگر متفاوت است و پس از مدتی این تفاوت کاهش یافته و همگرا می شود به طور که در نمودار فعالیت مشاهده می کنیم که ابتدا فعالیت نورونی حدود ۰ بوده و در نهایت به ۱ می رسد.



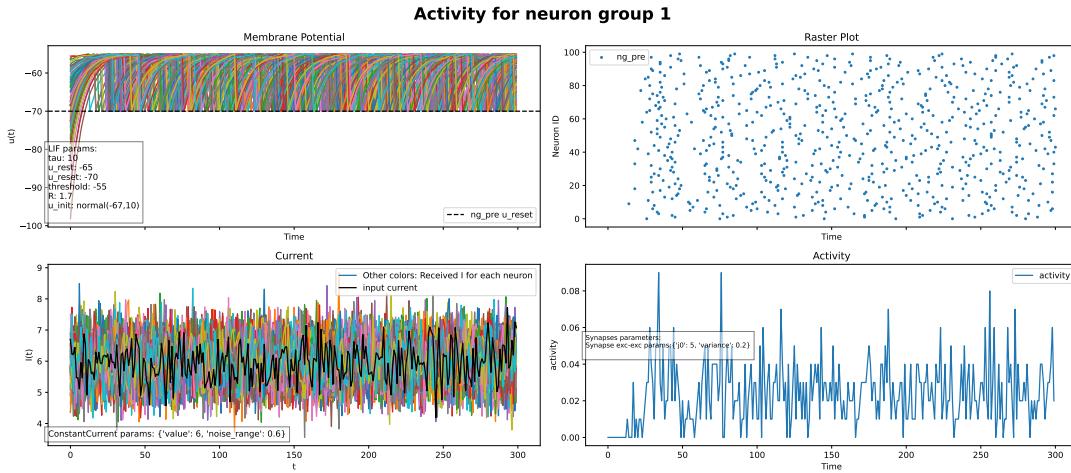
شکل ۱۰: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویز دار

اکنون نوبت به آزمایش رفتار جمعیت نسبت به جریان نویزی برای نورون های مختلف با دامنه نوسان ۶۰ بررسی میکنیم. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود، داشتن جریان های متفاوت سبب می شود که زمان ضربه زدن نورون ها پارکندگی بیشتر نسبت به قبل داشته باشد ولی برخلاف جمعیت بدون سیناپس که این پارکندگی کاهش نمی یافتد، در جمعیت دارای سیناپس مشاهده میکنیم که پس از مدتی، پارکندگی زمان ضربه زدن نورون ها کاهش یافته و در نتیجه فعالیت بیشتر میشود.

۲.۱۰. بررسی رفتار دو جمعیت نورونی

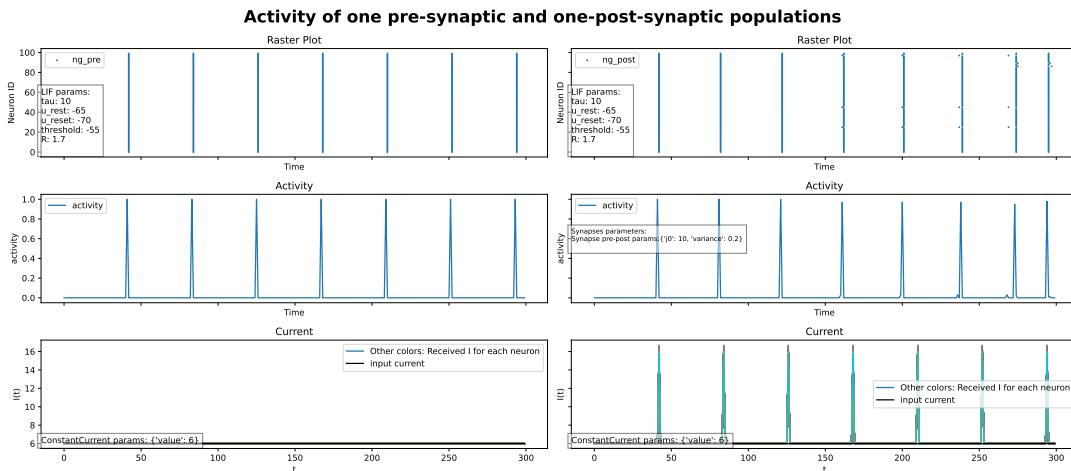
پس از بررسی رفتار یک جمعیت نورونی در حضور سیناپس، اکنون به سراغ بررسی رفتار دو جمعیت نورونی که از یکی به دیگری سیناپس وجود دارد می رویم. در این بخش تنها حالتی را در نظر میگیریم که یک جمعیت، نورون های پیش سیناپسی را تشکیل داده و جمعیت دیگر نورون های پس سیناپسی. بررسی حالت هایی با سیناپس های بیشتر را به بخش های بعدی واگذار میکنیم.

برای اینکار، ابتدا دو جمعیت نورونی تحریکی کاملا مشابه تشکیل میدهیم که فقط از جمعیت اول به جمعیت دوم سیناپس داریم. همچنین جریان ورودی هر دو جمعیت را نیز یکسان و ثابت میگیریم. حال اگر شبیه سازی را انجام دهیم، در شکل ۱۲ ملاحظه میکنیم که زمان ضربه زدن



شکل ۱۱: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویزی غیریکسان

نورون های هر دو جمعیت کاملاً یکسان است که این موضوع مربوط به کاملاً یکسان بودن این دو جمعیت است. همچنین به دلیل اینکه در پیاده سازی سیناپس، طبق گفته حل تمرین مربوطه، نیازی نیست تا تاثیر سیناپس تا لحظات بعد نیز باقی بماند، علاوه افزایش لحظه ای جریان ورودی به نورون های پس سیناپسی بی تاثیر می شود. اما اگر بتوان تاثیر جریان های موجود در سیناپس را حفظ نمود، ضربه های نورون پیش سیناپسی نیز روی نورون های پس سیناپسی تاثیرگذار خواهد بود (شکل ۱۳) به دلیل اینکه این نوع سیناپس هدف اصلی پروژه نمی باشد، ما بررسی های



شکل ۱۲: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی

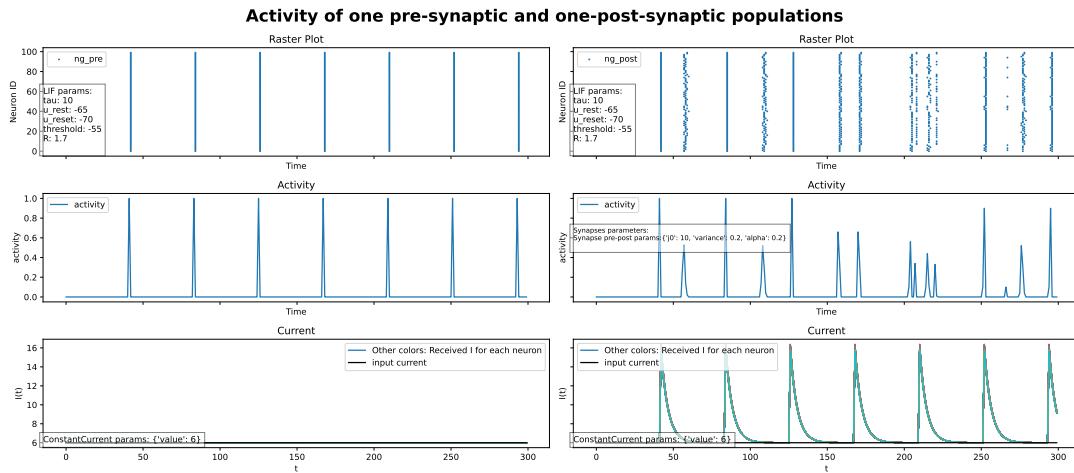
خود را بیشتر روی همان حالت گفته شده توسط دستیار آموزشی انجام می دهم.
حال اگر به نمودار ۱۲ اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت بیفزاییم، طبق شکل ۱۴ ملاحظه میکنیم که فواصل زمانی ضربه ها در جمعیت دوم نزدیک تر بوده و فعالیت آن نسبت به جمعیت اول بیشتر است. این به این دلیل است که در جمعیت دوم، علاوه بر جریان ورودی، جریان سیناپسی که از جمعیت اول گرفته می شود نیز وجود دارد.

حال به جریان ورودی هر دو جمعیت، یک جریان یکسان نویز دار اضافه میکنیم. همانطور که در شکل ۱۵ ملاحظه میکنیم، با اینکه نویز اضافه شده به هر دو نمودار از توزیع یکسان (میانگین=۰ و واریانس=۱) پیروی میکند، جریان دریافتی نهایی نورون های جمعیت پس سیناپسی، به طور میانگین بیشتر از جمعیت نورونی پیش سیناپسی است و در نتیجه فعالیت جمعیت آن نیز بیشتر است. این به این دلیل است که جریانی تحت تاثیر ضربه های جمعیت پیش سیناپسی به جریان جمعیت پس سیناپسی نیز اضافه می شود.

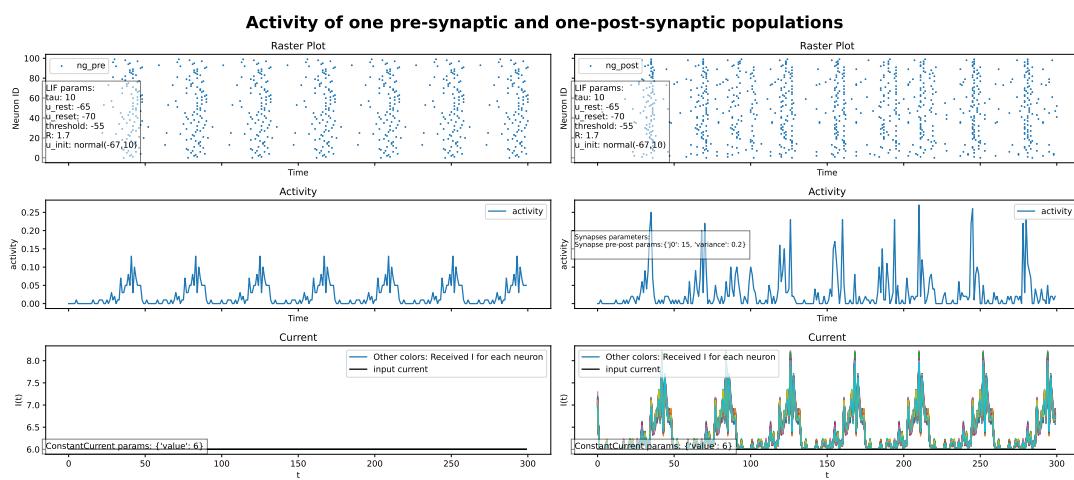
حال رفتار جمعیت را با جریان نویزی غیریکسان آزمایش میکنیم. دامنه نوسان را ۰.۲ تنظیم میکنیم و انتظار داریم که مانند شکل های گذشته، میزان پراکنندگی زمان ضربه زدن های نورون ها بیشتر شود، که از شکل ۱۶ نیز همین دریافت می شود.

اگر دامنه نوسان جریان را تا ۰.۵ بیشتر افزایش دهیم، هرچند پراکنندگی زمان ضربه زدن هر دو جمعیت بیشتر می شود، ولی هنوز بیشتر بودن فعالیت جمعیت نورونی دوم مشهود است. (شکل ۱۷)

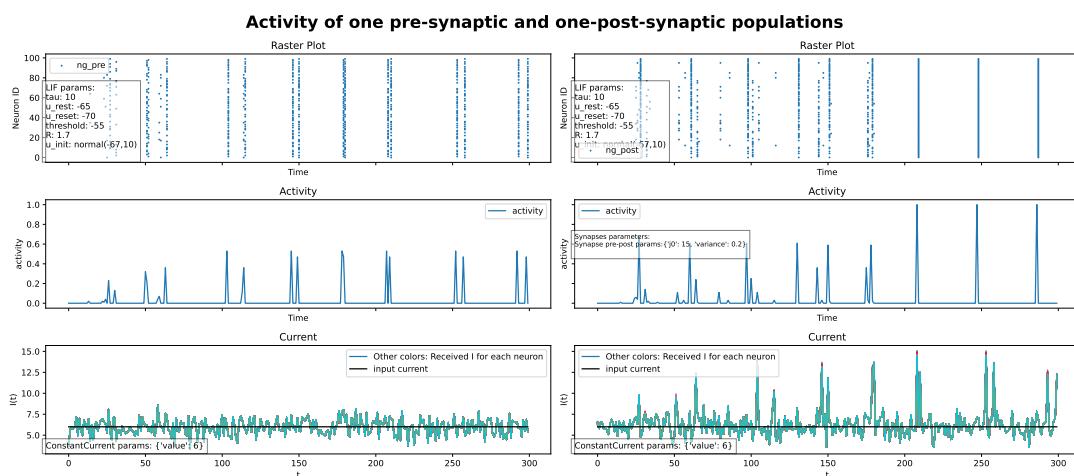
به عنوان آخرین نمودار این بخش و مقدمه ای بر بخش بعدی، افزایش مقدار σ_r را بررسی میکنیم. همانطور که از شکل ۱۸ بر می آید، افزایش



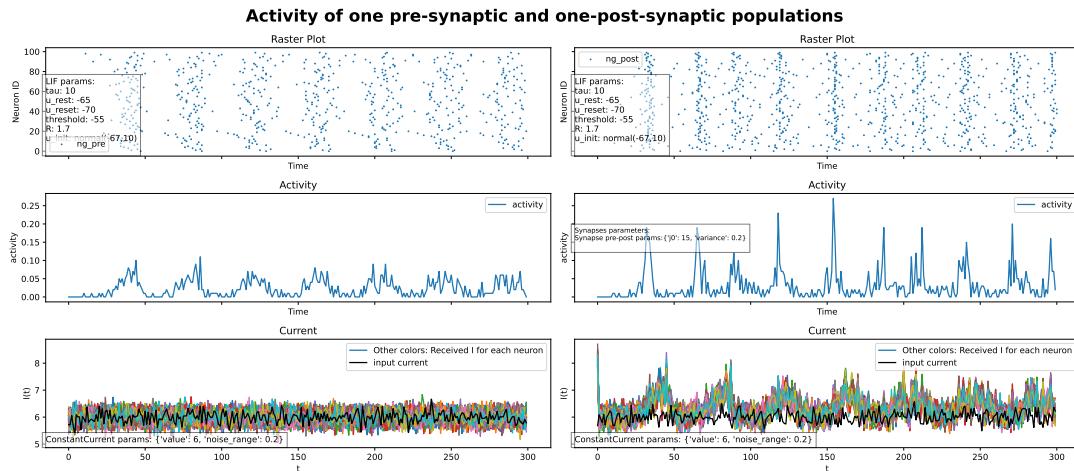
شكل ١٣: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: حفظ تاثیر جریان سیناپسی تا لحظات بعد



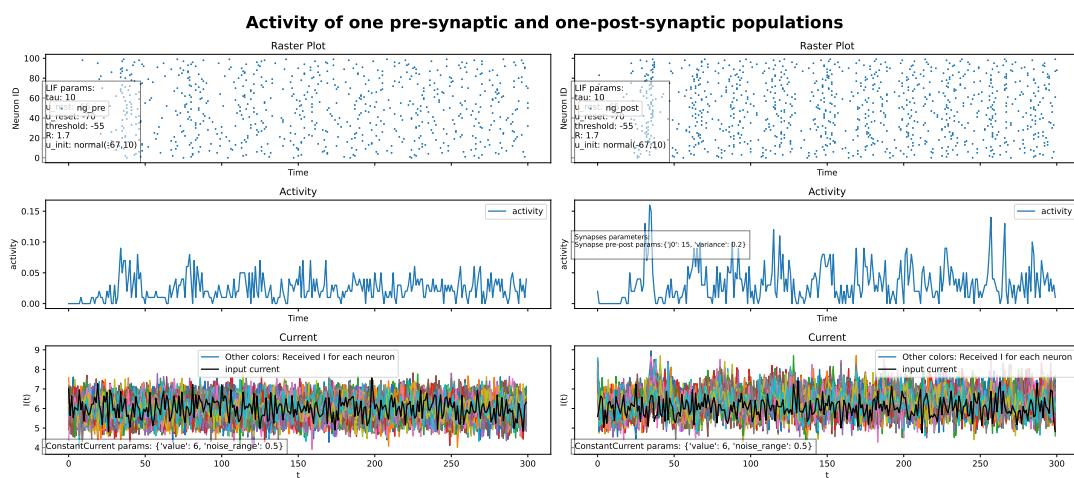
شكل ١٤: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر اختلاف پتانسیل اولیه مقاومت



شكل ١٥: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی

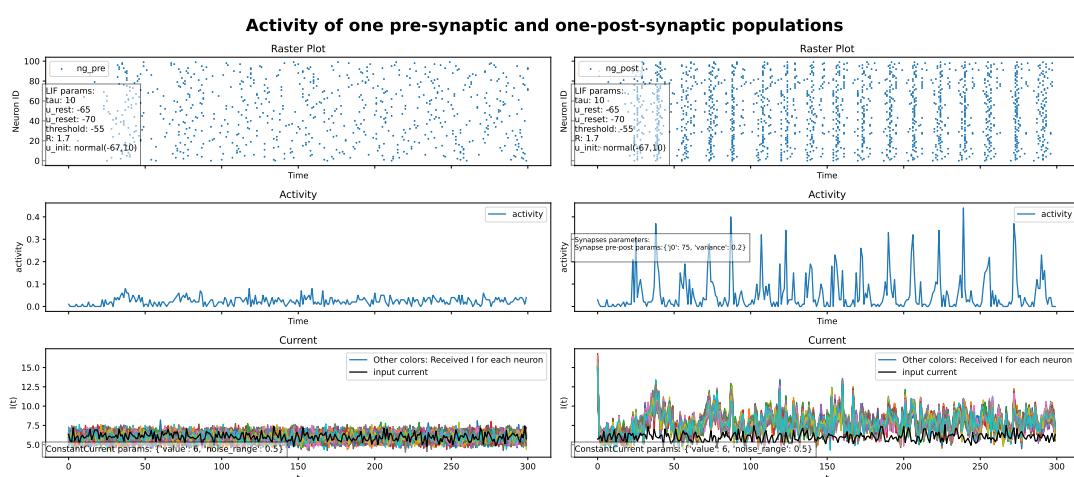


شکل ۱۶: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی غیریکسان



شکل ۱۷: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی غیریکسان

j) منجر به افزایش وزن ها و در نتیجه افزایش جریان سیناپسی ورودی به جمعیت نورونی پس سیناپسی شده و فعالیت آن را بیشتر می کند.



شکل ۱۸: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی غیریکسان

۲۰. الگوهای ارتباطی

کتاب‌نامه

- [۱] Computational Neuroscience Course, School of computer science, University of Tehran
- [۲] PymoNNtorchPytorch-adapted version of PymoNNto
- [۳] Wiki-pedia: Refractory_period_(physiology)