

گزارش پژوهه اول علوم اعصاب محاسباتی

امیرحسین انتظاری

۱۴۰۳ فروردین ۱۲

فهرست مطالب

۱	پیاده سازی و کار سیناپس	۱۰
۱	بررسی رفتار درون یک جمیت نورونی	۱۱۰
۵	بررسی رفتار دو جمیت نورونی	۲۱۰
۹	الگوهای ارتباطی	۲۰
۹	الگوی ارتباط کامل	۱۲۰
۱۶	الگوی ارتباط تصادفی با احتمال جفت شدن ثابت	۲۲۰

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:

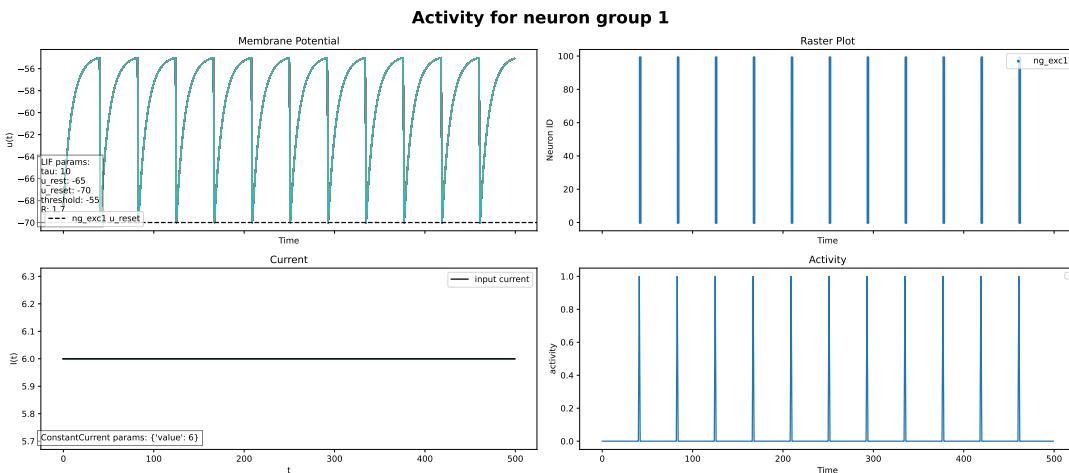
$$I_{ng}(t) = I_{sg}(t-1) + I_{sg}(t) \quad (1)$$

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.

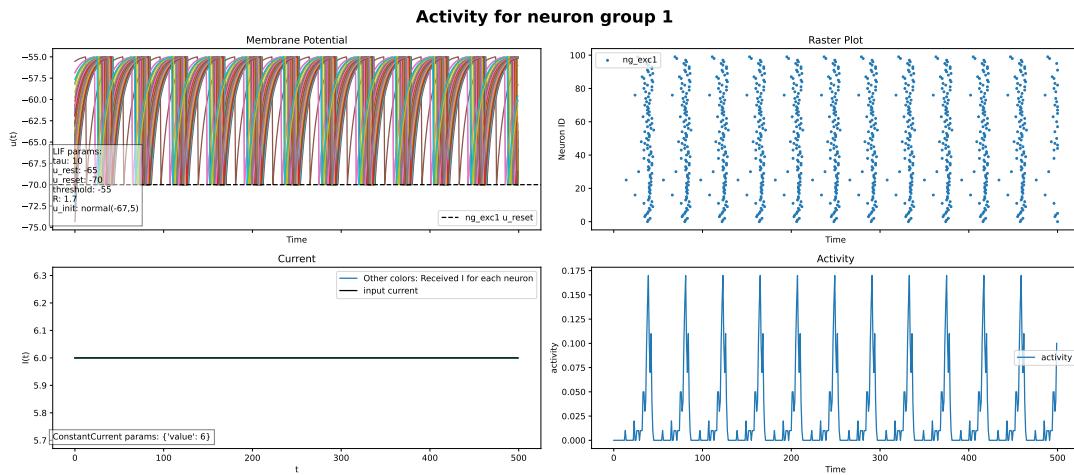


شکل ۱: جمعیت نورونی بدون سیناپس

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

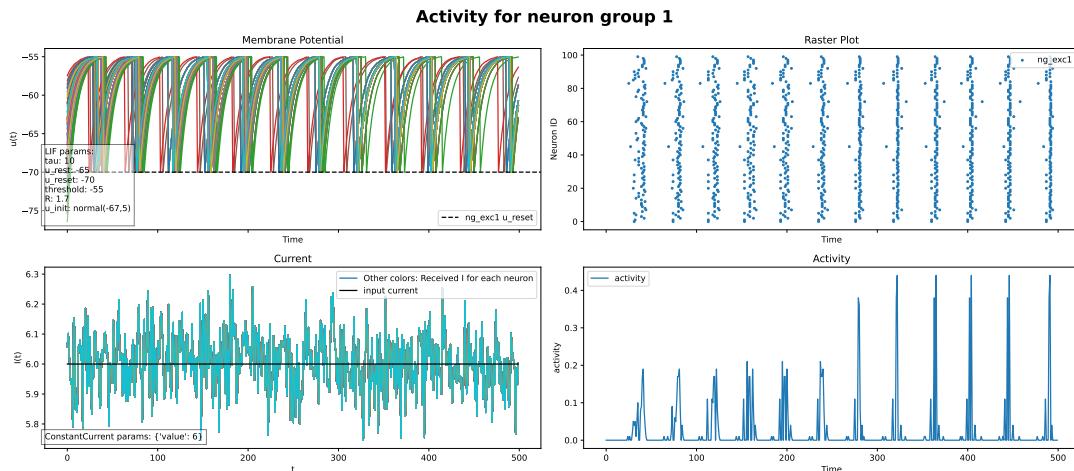
۱ Delta Dirac function^۳
۲ ویکی پدیا^۴
۳ iteration^۵
۴ spike^۶
۵ Behavior^۶

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.



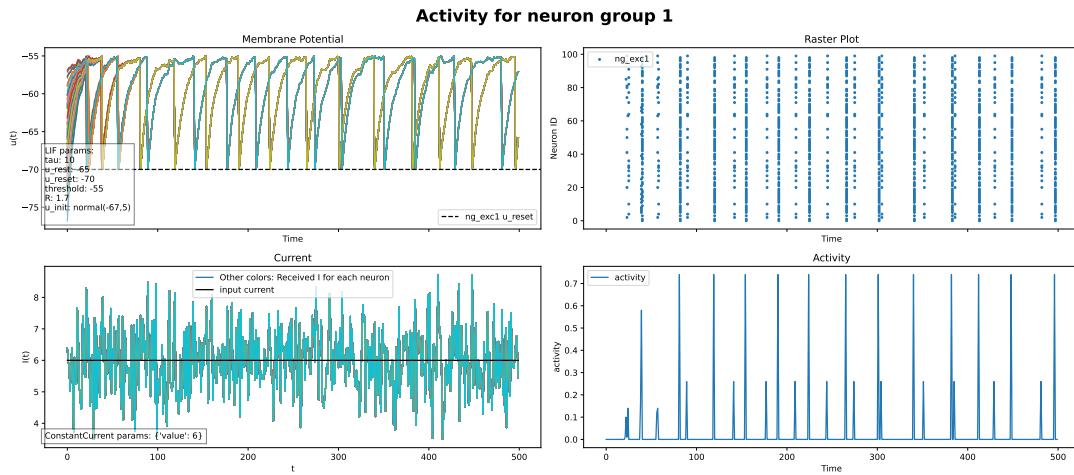
شکل ۲: جمعیت نورونی بدون سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت

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)

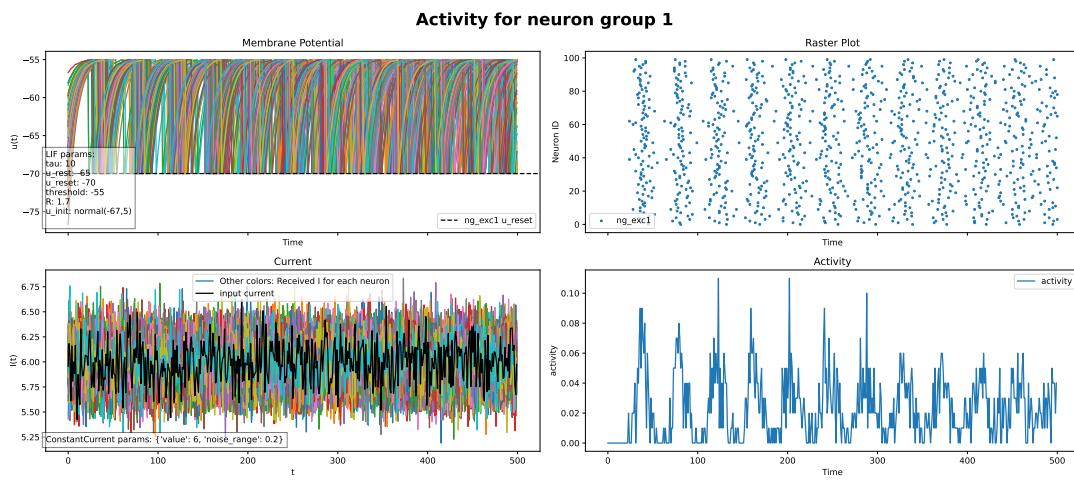


شکل ۳: جمعیت نورونی بدون سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویزی

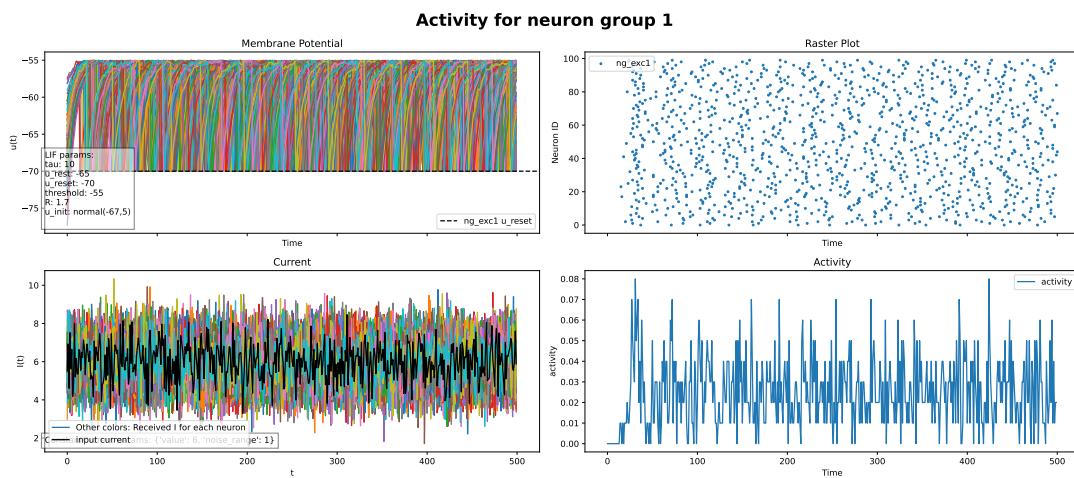
حال فعالیت جمعیت نورونی را با جریان متفاوت برای هر نورون آزمایش میکنیم تا رفتار آن ها را بر این اساس نیز مشاهده کنیم. برای اینکار، جریان ورودی به جمعیت نورونی را با واریانس ۰.۲ اضافه میکنیم. همانطور که در شکل ۵ مشاهده میکنیم، تغییر دادن جریان ورودی به ازای هر نورون، زمان ضربه زدن هر نورون را از دیگری 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



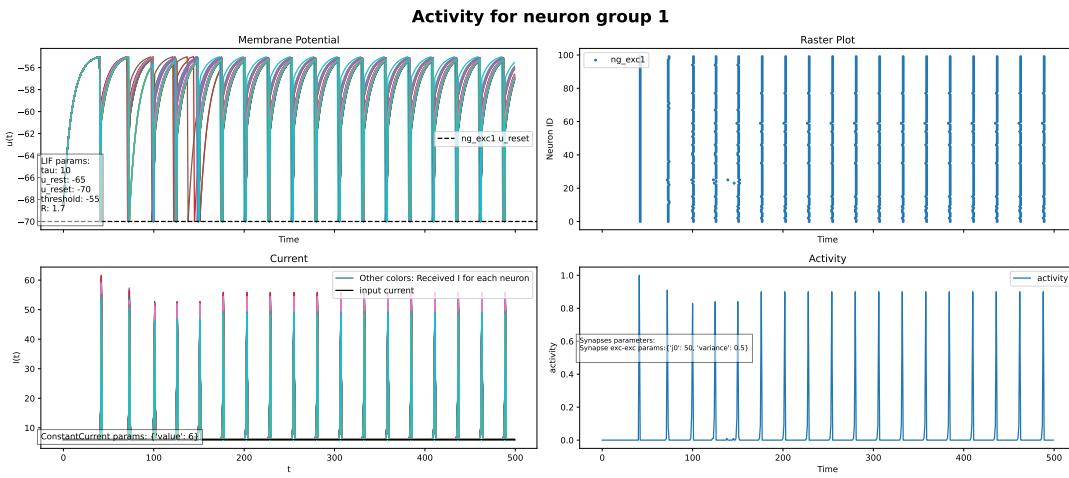
شكل ٥: جماعت نوروني بدون سيناپس: جريان ورودي متفاوت



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

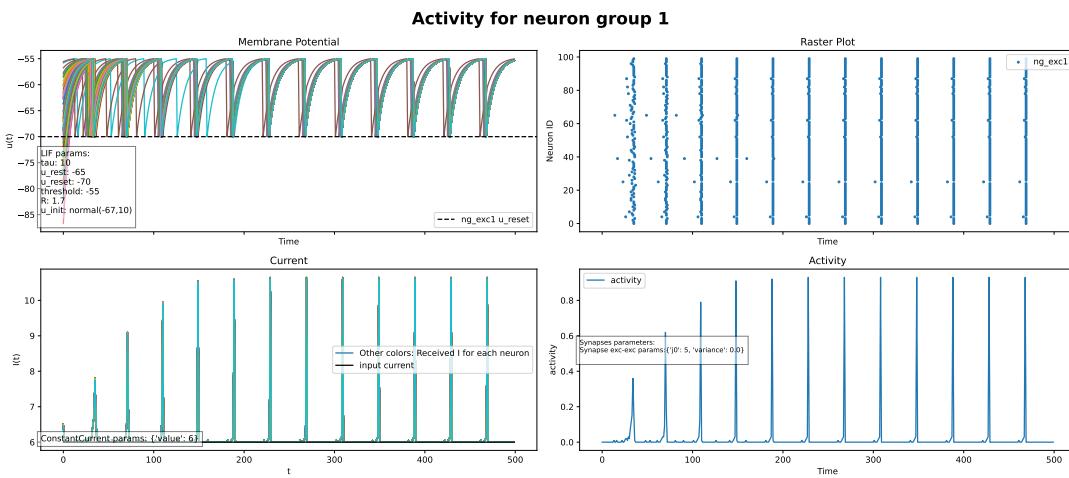
جمعیت نورونی به همراه سیناپس

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 کامل^۷ بررسی میکنیم و بررسی الگوهای دیگر را به بخش دوم پوشیده 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

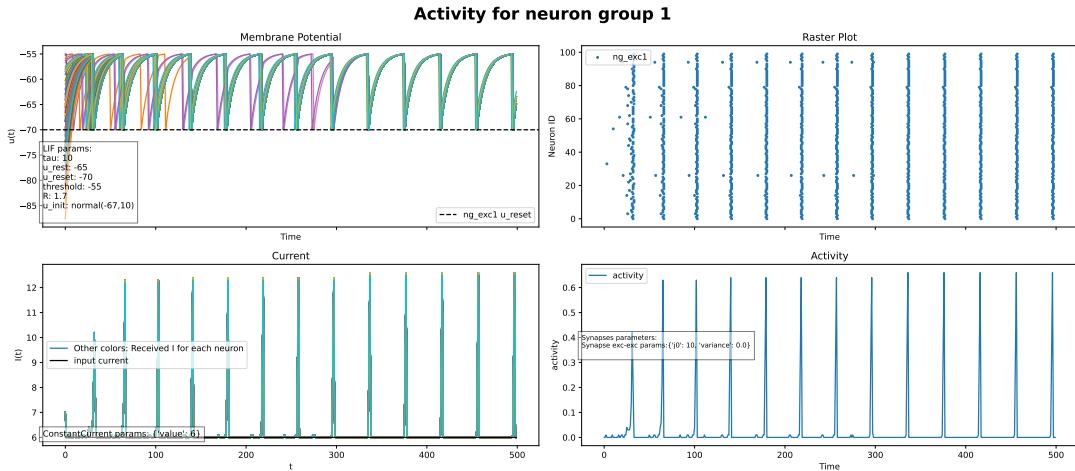
حال اگر اختلاف پتانسیل اولیه نورون‌ها را متفاوت مقدار دهی کنیم، مطابق شکل ۸ میبینیم که زمان ضربه زدن نورون‌ها متفاوت می‌شود. هر چند پس از مدتی، به دلیل اضافه شدن جریان سیناپسی به جریان ورودی نورون و درنتیجه افزایش یافتن جریان دریافتی نورون، این اختلاف زمانی ضربه‌ها نیز کمتر می‌شود. افزایش مقدار j_0 به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



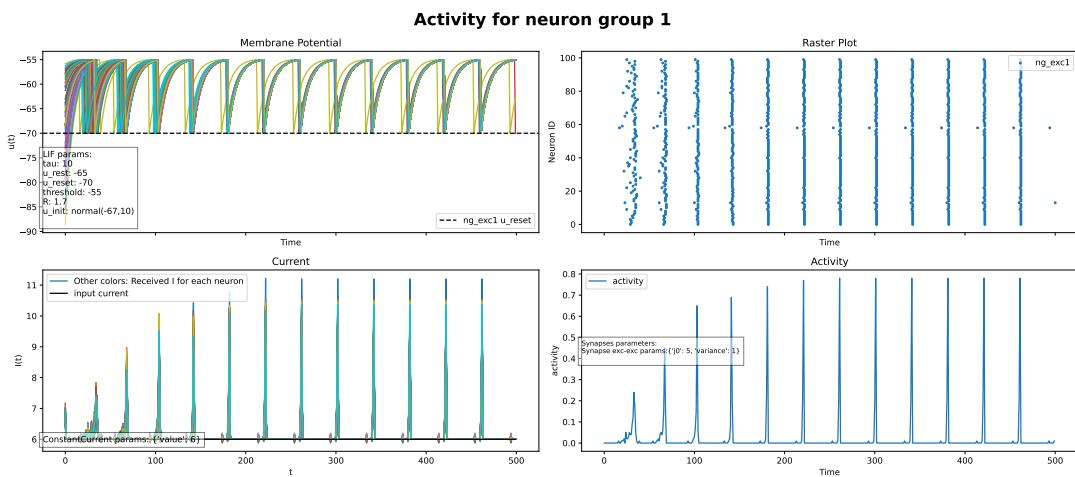
شکل ۸: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت

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 ۱۰ این موضوع را تایید میکند و ملاحظه می‌شود که فعالیت نورون‌ها مانند شکل قبل همگرا نشده و بالا و پایین می‌شود (در نهایت بین مقادیر 60° و 80° نوسان می‌کند). بعد از بررسی پارامترهای

full connectivity^۸



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



شکل ۱۰: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و وزن با واریانس بیشتر

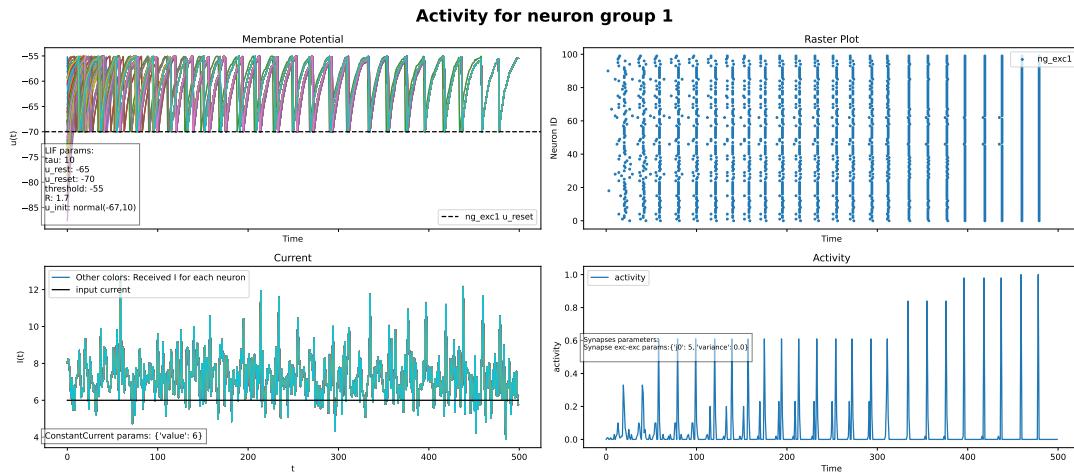
سیناپس، نوبت به بررسی تاثیر جریان بر روی سیناپس می رسد. مطابق زیربخش قبل، در ابتدا رفتار جمعیت را با جریان نویزی یکسان برای همه نورون ها بررسی می کنیم. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود، در ابتدا، زمان ضربه زدن نورون ها با یکدیگر متفاوت است و پس از مدتی این تفاوت کاهش یافته و همگرا می شود به طور که در نمودار فعالیت مشاهده می کنیم که ابتدا فعالیت نورونی حدود ۰ بوده و در نهایت به ۱ می رسد.

اکنون نوبت به آزمایش رفتار جمعیت نسبت به جریان متفاوت می رسد. در این آزمایش، رفتار جمعیت را با جریان نویزی برای نورون های مختلف با دامنه نوسان ۶۰.۰ بررسی می کنیم. همانطور که در شکل ۱۲ 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 یافت، در جمعیت دارای سیناپس مشاهده می کنیم که پس از مدتی، پارکندگی زمان ضربه زدن نورون ها کاهش یافته و در نتیجه فعالیت جمعیت بیشتر می شود.

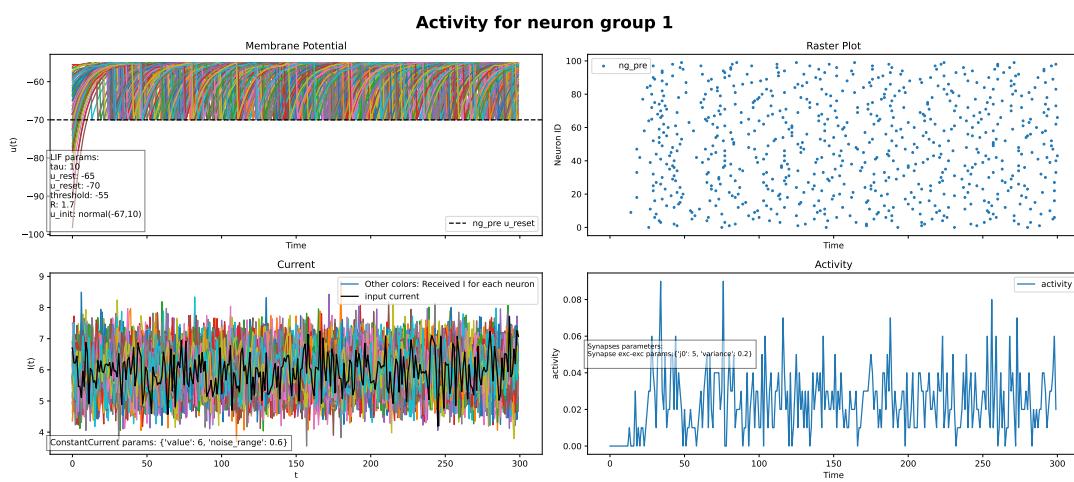
۲.۱.۰ بررسی رفتار دو جمعیت نورونی

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 بیش 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 شیوه سازی را انجام دهیم، در شکل ۱۳ ملاحظه میکنیم که زمان ضربه زدن نورون های هر دو جمعیت کاملا یکسان است که این موضوع مربوط به کاملا یکسان بودن این دو جمعیت است. همچنین به دلیل اینکه در پیاده سازی سیناپس، طبق گفته حل تمرين مربوطه، نيازی نیست تا تاثیر سیناپس تا لحظات بعد نیز باقی بماند، عمل افزایش لحظه ای جریان ورودی



شکل ۱۱: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویز دار



شکل ۱۲: جمعیت نورونی با سیناپس: اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت و جریان نویزی غیریکسان

به نورون های پس سیناپسی بی تاثیر می شود. اما اگر توان تاثیر جریان های موجود در سیناپس را حفظ نمود، ضربه های نورون پیش سیناپسی نیز روی نورون های پس سیناپسی تاثیر گذار خواهد بود (شکل ۱۴) به دلیل اینکه این نوع سیناپس هدف اصلی پروژه نمی باشد، ما بررسی های خود را بیشتر روی همان حالت گفته شده توسط دستیار آموزشی انجام می دهیم.

حال اگر به نمودار ۱۳ اختلاف پتانسیل اولیه متفاوت بیفزاییم، طبق شکل ۱۵ 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.

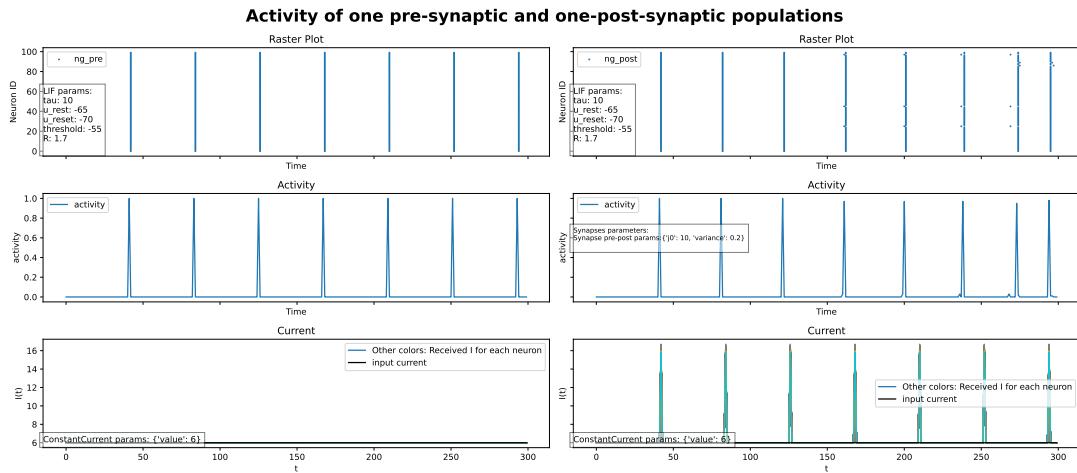
حال به جریان ورودی هر دو جمعیت، یک جریان یکسان نویز دار اضافه میکنیم. همانطور که در شکل ۱۶ ملاحظه میکنیم، با اینکه نویز اضافه شده به هر دو نمودار از توزع یکسان (میانگین=۰ و واریانس=۱) پیروی میکند، جریان دریافتی نهایی نورون های جمعیت پس سیناپسی، به طور میانگین بیشتر از جمعیت نورونی پیش سیناپسی است و در 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 پراکندگی زمان ضربه زدن های نورون ها بیشتر شود، که از شکل ۱۷ نیز همین دریافت می شود.

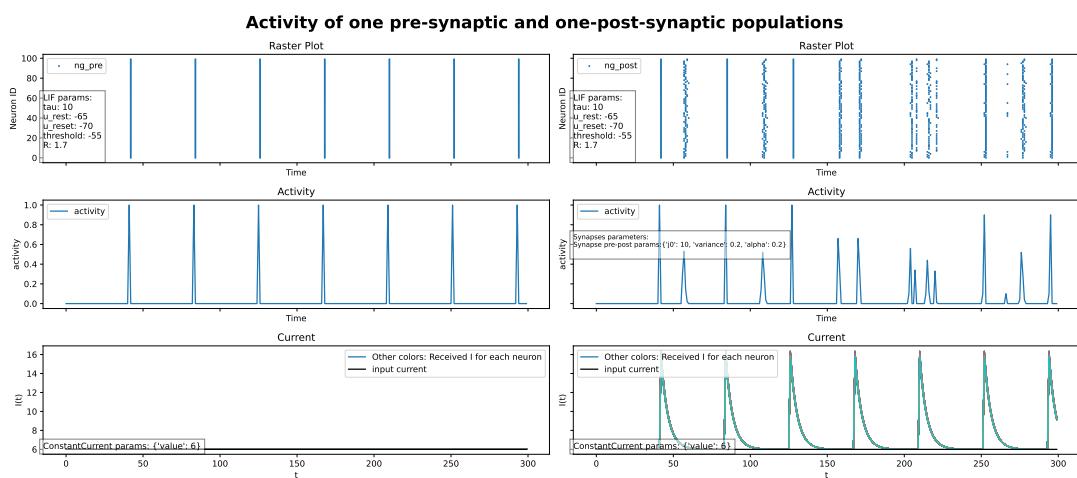
اگر دامنه نوسان جریان را تا ۰.۵ بیشتر افزایش دهیم، هرچند پراکندگی زمان ضربه زدن هر دو جمعیت بیشتر می شود، ولی هنوز بیشتر بودن

فعالیت جمعیت نورونی دوم مشهود است. (شکل ۱۸)

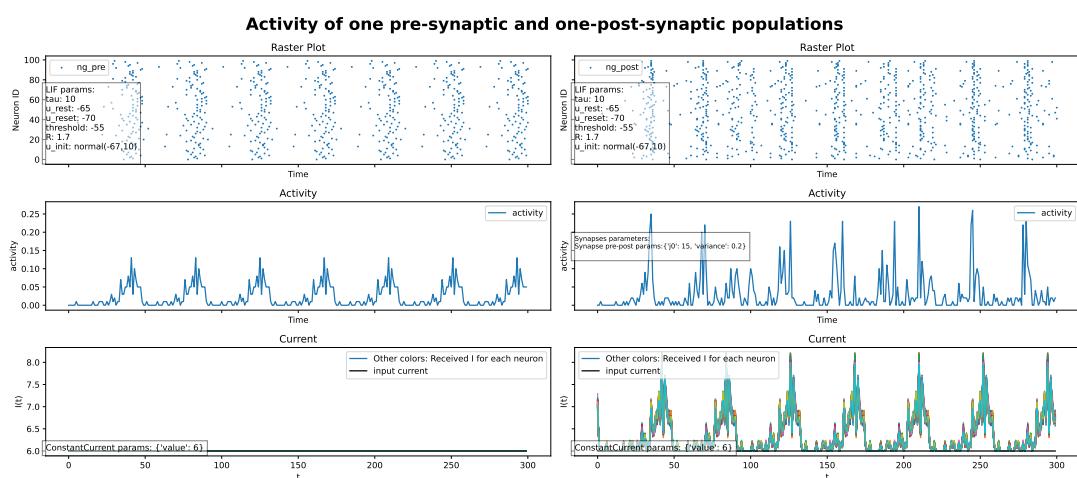
به عنوان آخرین نمودار این بخش و مقدمه ای بر بخش بعدی، افزایش مقدار σ_z را بررسی میکنیم. همانطور که از شکل ۱۹ بر می آید، افزایش σ_z منجر به افزایش وزن ها و در نتیجه افزایش جریان سیناپسی ورودی به جمعیت نورونی پس سیناپسی شده و فعالیت آن را بیشتر می کند.



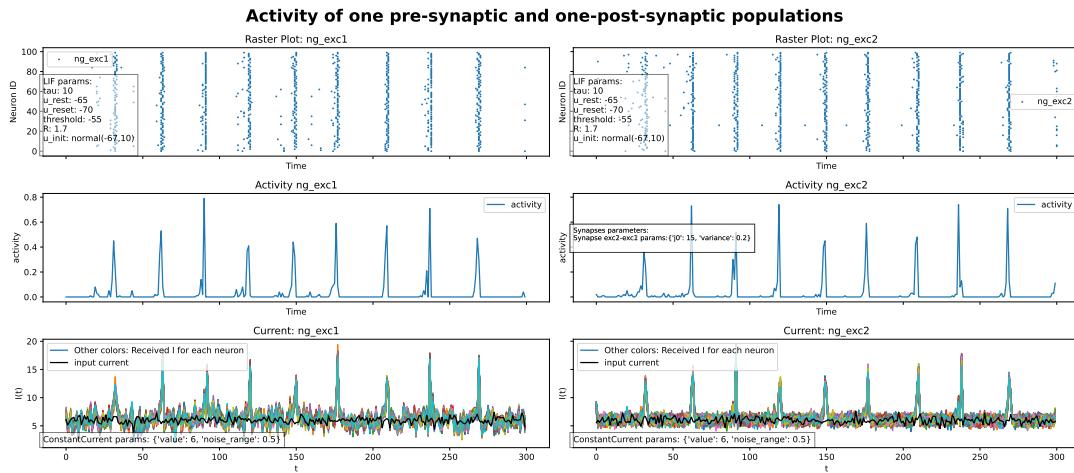
شکل ۱۳: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی



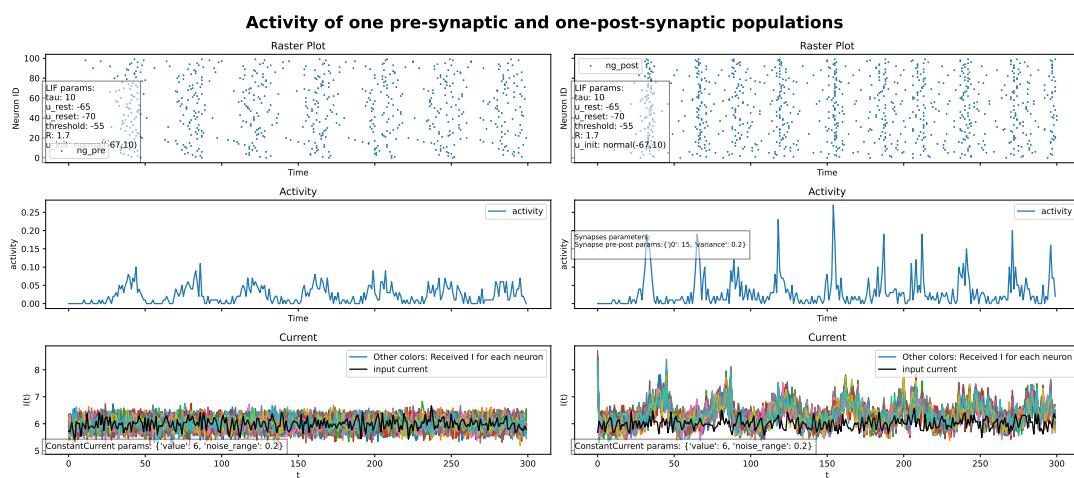
شکل ۱۴: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: حفظ تاثیر جریان سیناپسی تا لحظات بعد



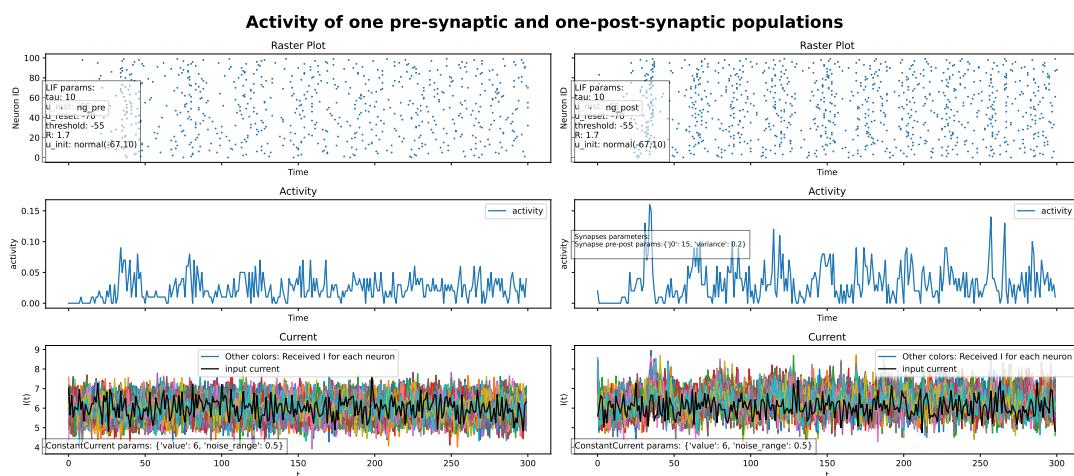
شکل ۱۵: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر اختلاف پتانسیل اولیه مقاومت



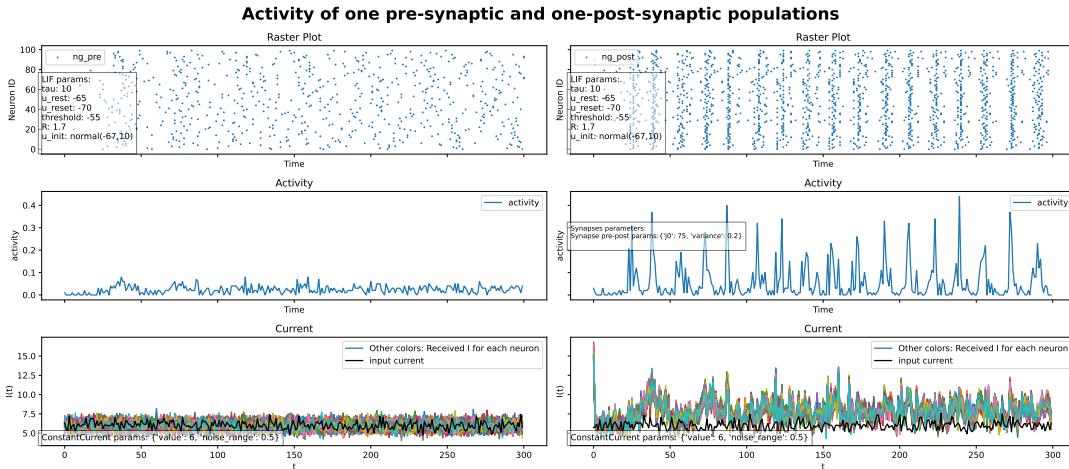
شکل ۱۶: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی



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



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



شکل ۱۹: جمعیت نورونی پیش سیناپسی و پس سیناپسی: تاثیر جریان نویزی غیریکسان

۲۰. الگوهای ارتباطی

در این بخش از پژوهه، به بررسی سه الگوی ارتباط ارتباطی، یعنی الگوی ارتباط کامل^۸، ارتباط تصادفی با احتمال جفت شدن ثابت^۹ و ارتباط تصادفی با تعداد ثابت نورون پیش سیناپسی^{۱۰} می‌پردازیم. در این بخش، با انجام آزمایش‌های مناسب، جریان حاصل و حساسیت به نویز را در هر یک از این الگوها بررسی می‌کنیم.

ارتباط واقعی بین نورون‌های قشری انواع مختلف و لایه‌های مختلف، یا درون‌گروه‌هایی از نورون‌های هم نوع و یک لایه هنوز تا حدی ناشناخته است، زیرا داده‌های تجربی محدود است. حداکثر، برخی برآوردهای قابل قبول از احتمالات اتصال وجود دارد. در برخی موارد احتمال اتصال به عنوان وابسته به فاصله در نظر گرفته می‌شود، در سایر تحقیق‌های تجربی به عنوان یکنواخت در همسایگی محدود یک ستون (column) قشری مغز.

در شبیه‌سازی‌های ما چند طرح جفت وجود دارد که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اکثر اینها اتصال تصادفی درون و بین جمعیت‌ها را فرض می‌کنند. در ادامه این طرح‌ها را با تمرکز ویژه بر رفتار مقیاس‌بندی ناشی از هر انتخاب از طرح‌های جفت مورد بحث قرار می‌دهیم. در اینجا، رفتار مقیاس‌بندی به تغییر در تعداد N نورون‌هایی که در جمعیت شرکت می‌کنند اشاره دارد. [۴]

۱۰.۰ الگوی ارتباط کامل

ساده‌ترین الگوی ارتباط، اتصال همه-به-همه در یک جمعیت است. همه اتصالات وزن یکسانی دارند. اگر بخواهیم تعداد N نورون‌ها را در شبیه‌سازی یک جمعیت تغییر دهیم، یک فرمول مقیاس‌بندی مناسب، فرمول $\frac{j_0}{N} = w_{ij}$ است. این فرمول مقیاس‌بندی یک انتزاع ریاضی است که ما را قادر می‌سازد تا به طور فرمال حد $\infty \rightarrow N$ را بگیریم و در عین حال ورودی مورد انتظاری را که یک نورون از نورون‌های پیش سیناپسی خود در جمعیت دریافت می‌کند ثابت نگه داریم. در حد حد $\infty \rightarrow N$ ، نوسانات ناپیدی شوند و ورودی مورد انتظار را می‌توان به عنوان ورودی واقعی هر یک از نورون‌های N در نظر گرفت. البته جمعیت‌های واقعی اندازه محدودی دارند، به طوری که همیشه برخی از نوسانات باقی می‌ماند. اما با افزایش N نوسانات کاهش می‌یابد. [۲]

حال به شبیه‌سازی و بررسی این ارتباط می‌پردازیم. در این قسمت، یکبار برای یک جمعیت و یکبار برای دو جمعیت، آزمایش‌های اینمان را انجام می‌دهیم. از آنجا که تاثیر برخی پارامترها را در بخش قبل انجام دادیم، در این قسمت بیشتر روی آزمایش پارامترهای خود سیناپس‌ها متمرکز می‌شویم.

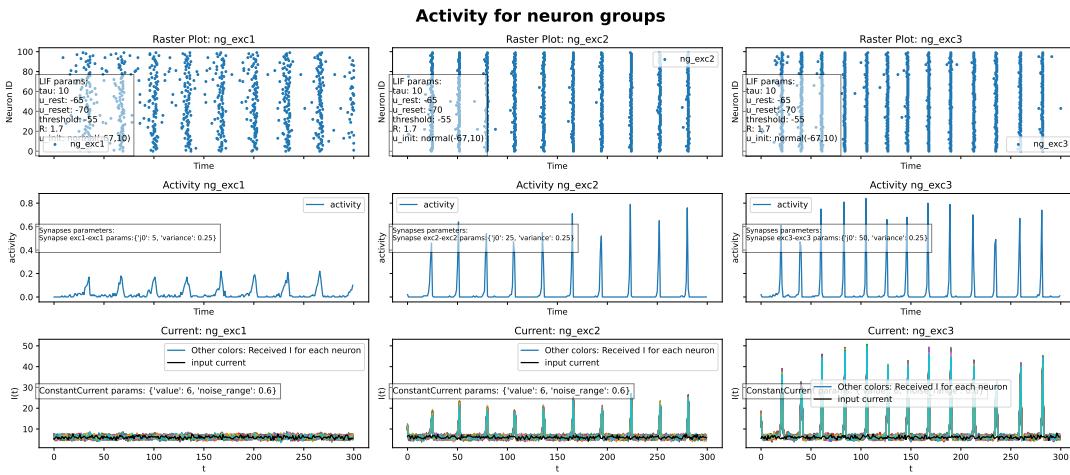
بررسی رفتار یک جمعیت

برای بررسی رفتار روی یک جمعیت، کافی است که یک جمعیت نورونی به همراه سیناپس داخل آن تشکیل داده و آن را شبیه‌سازی کنیم. از آنجا که در بخش اول، تاثیر جریان نویز دار و همچنین اختلاف پتانسیل اولیه در آورده شده است، از بررسی دوباره آن‌ها در اینجا خودداری می‌شود و پارامترهای خود سیناپس مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از این‌رو، برای شروع، یک جمعیت نورونی با مدل (Leaky-integrate-and-fire) LIF^{۱۱}

Full connectivity^۸
Random coupling: Fixed coupling probability^۹
Random coupling: Fixed number of presynaptic partners^{۱۰}
۱۱ مدل تجمعی و آتش نشانی

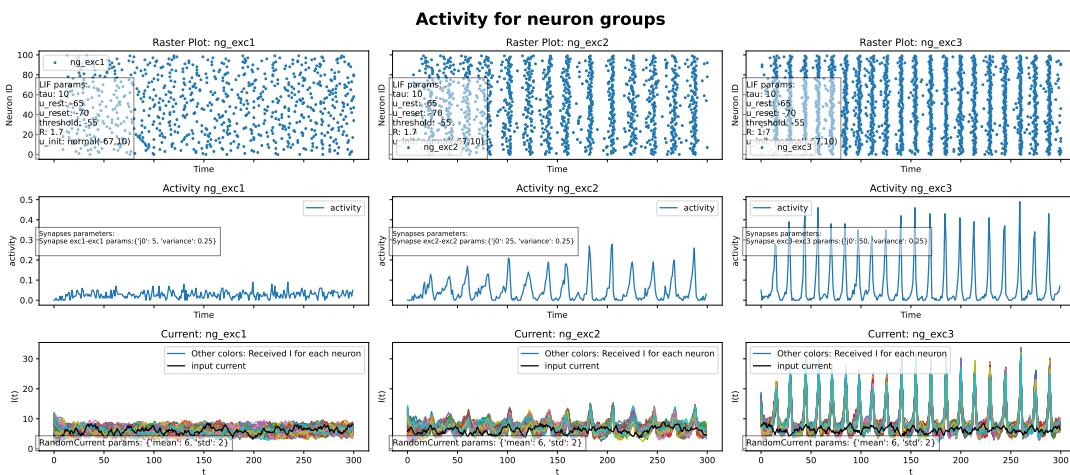
با پارامتر های $R = 1.7$, $threshold = -55$, $u_{reset} = -70$, $u_{rest} = -65$, $\tau = 10$, $u_{init} = normal(-67, 10)$ ثابت نویزدار 6 میسازیم.

پارامتر j_0 در ابتدا تاثیر پارامتر j_0 را بر روی رفتار تحلیل میکنیم. برای این منظور، سه مقدار $5 = j_0 = 25$, $j_0 = 75$, $j_0 = 25$ را شبیه سازی میکنیم. همچنین پارامتر واریانس را $0.25 = \tilde{\sigma}$ میگیریم. از آنجا که فرمول موردنیاز برای واریانس به طور کامل برای هر سه مدل شرح داده نشده بود، به طور کلی برای سه مدل، این پارامتر در مقدار میانگین $\frac{j_0}{N}$ ضرب شده و مقدار واریانس در توزیع $normal(\mu, \sigma)$ را می سازد. همانطور که در شکل ۲۰ مشاهده میکنیم، با افزایش j_0 میزان نواسات کاهش می یابد. تحلیل من از این اتفاق این است که با زیاد شدن مقدار وزن های سیناپسی در یک جمعیت نورونی، بعد از ضربه زدن نورون های یک جمعیت، مقدار جریان حاصل از سیناپس نیز افزایش یافته، و در لحظه بعدی نورون ها جریان بیشتری دریافت کرده و در نتیجه سریع تر ضربه میزنند. از آنجا که سرعت ضربه زدن آن ها افزایش می یابد، تفاوت اختلاف پتانسیل متفاوتی که در مقدار دهی اولیه به آن ها داده شده بود نیز رفته کمتر شده و پس از مدتی زمان ضربه زدن نورون ها نزدیک به یکدیگر می شود. علاوه بر کم شدن پراکندگی لحظات ضربه ها، میینم که در نمودار سمت راست، نورون ها تعداد ضربه های بیشتری نیز در کل زده اند.



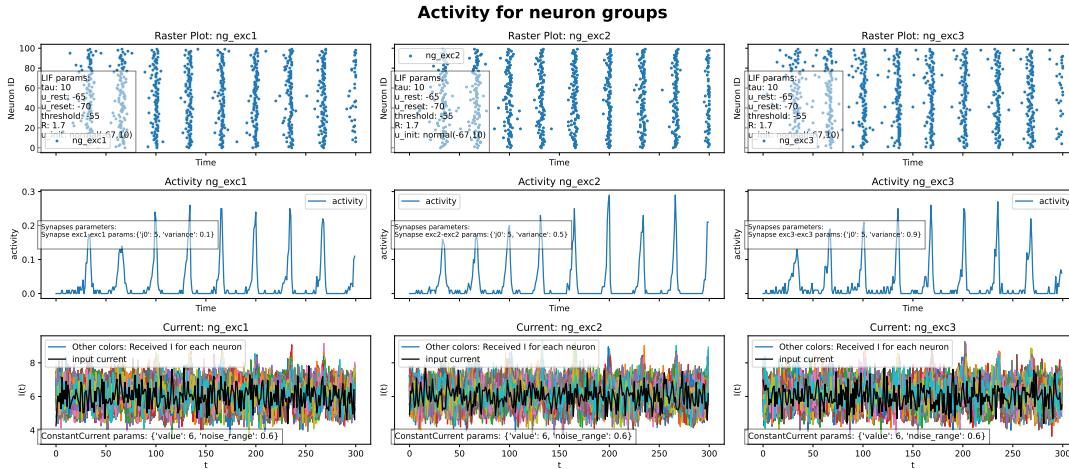
شکل ۲۰: رفتار یک جمعیت نورونی با مقادیر j_0 مختلف و جریان ثابت نویز دار

حال به جمعیت نورونی مان، یک جریان تصادفی میدهیم تا رفتار شبیه به نورون واقعی را بیشتر بررسی کنیم. مجددا در شکل ۲۱ مشاهده میکنیم که تصادفی بودن جریان، منجر به پراکندگی زمان ضربه زدن نورون ها می شود و به طور کلی فعالیت آن ها را کاهش داده است، اما با زیاد کردن وزن های سیناپسی، این نوسانات کمتر شده به طور که در نمودار سمت راست، میتوانیم زمان ضربه زدن نورون ها را در ستون هایی دسته بندی کنیم.



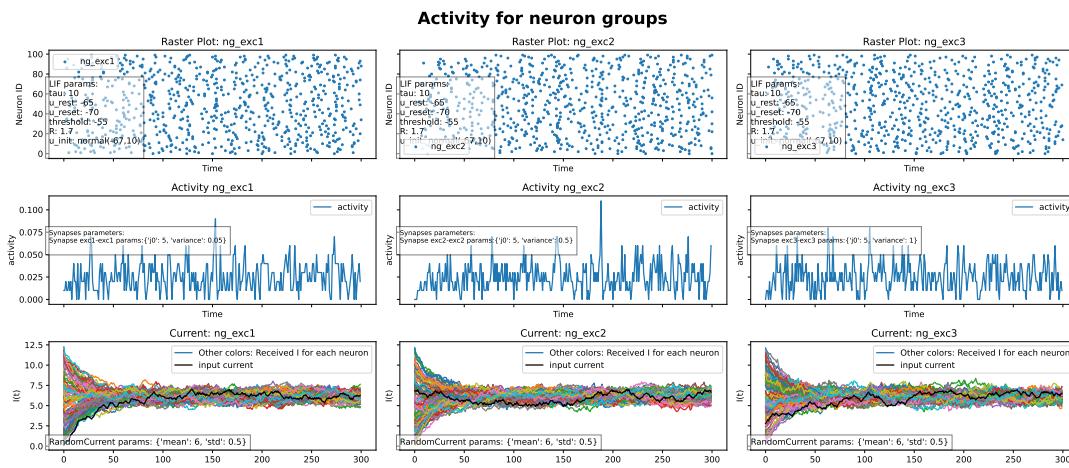
شکل ۲۱: رفتار یک جمعیت نورونی با مقادیر j_0 مختلف و جریان تصادفی

پارامتر واریانس حال رفتار جمعیت را به ازای مقادیر مختلف واریانس تحلیل میکنیم. برای این قسمت نیز از همان مدل نورونی بالا استفاده میکنیم. از آنجاکه الگوی ارتباطی مان کامل است، انتظار داریم که تغییر معمول واریانس تقواوت زیادی در رفتار کلی نورون ها ایجاد نکند، چرا که هر نورون با تمام نورون های دیگر ارتباط دارد و از این رو برآیند جریان سنتاپسی وارد شده به نورون ها نزدیک به هم می باشد. شکل ۲۲ بیانگر همین موضوع است. هر چند تغییرات کوچکی میتواند رخ دهد. مثلا در نمودار سمت راست که واریانس برابر با خود میانگین دارد (کفیم که عددی که به عنوان واریانس به مدل ورودی داده می شود در میانگین ضرب شده و سپس تشکیل واریانس اصلی توزیع را می دهد)، میزان فعالیت کلی نورون ها کمی از دو مدل دیگر بیشتر است.



شکل ۲۲: رفتار یک جمعیت نورونی با واریانس مختلف و جریان ثابت نویزدار

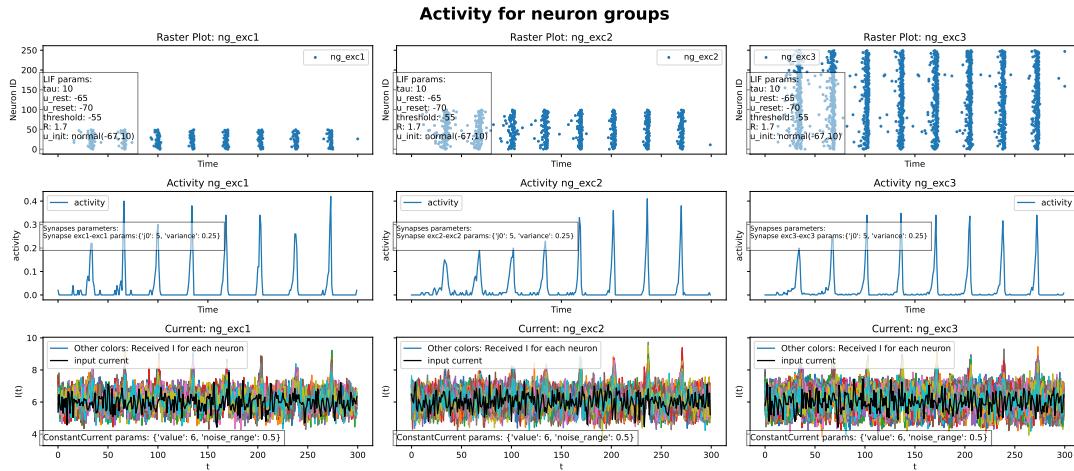
حال رفتار را با یک جریان تصادفی آزمایش می کنیم. در جریان تصادفی نیز مطابق شکل ۲۳ دریافت می شود که تغییر واریانس تاثیر چندانی بر روی رفتار جمعیت ندارد. به طور کلی نتیجه را گرفت که در الگوی ارتباط کامل با جریان غیر ثابت، به دلیل اینکه همه نورون ها با یکدیگر در ارتباط هستند، افزودن واریانس به وزن ها نمیتواند روی جریان تصادفی تاثیر بگذارد.



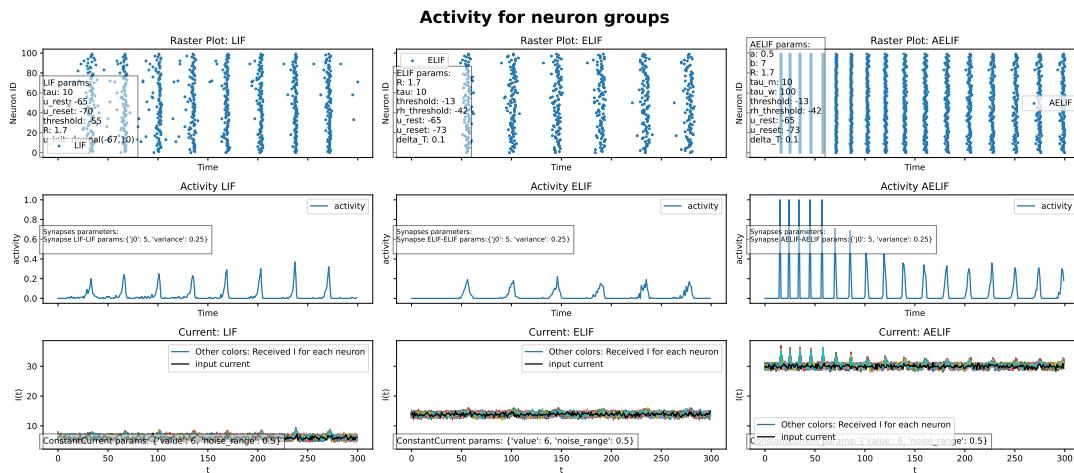
شکل ۲۳: رفتار یک جمعیت نورونی با واریانس مختلف و جریان تصادفی

اندازه جمعیت خالی از لطف نیست که تاثیر اندازه جمعیت را روی رفتار آن بررسی میکنیم. برای اینکار سه جمعیت نورونی به اندازه های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ را بررسی میکنیم تا بینیم آنچه تاثیری روی رفتار جمعیت دارد. طبق شکل ۲۴ مشاهده می کنیم که اگر مدل نورون ها و جریان را یکی بگیریم، برای جمعیت با اندازه های متفاوت، فعالیت نورونی تغییری نکرده و مستقل از اندازه جمعیت است.

مدل های نورونی در نهایت نیز به سراغ بررسی تاثیر انتخاب مدل نورونی روی رفتار جمعیت میرویم. همانطور که از شکل ۲۵ پیداست، رفتار مدل نورونی LIF و ELIF شبیه یکدیگر است در حالی که در مدل AELIF با گذر زمان، فعالیت نورونی کاهش یافته و به مقدار کمتری همگرا می شود.



شکل ۲۴: رفتار یک جمعیت نورونی با واریانس مختلف و جریان تصادفی



شکل ۲۵: رفتار یک جمعیت نورونی با واریانس مختلف و جریان تصادفی

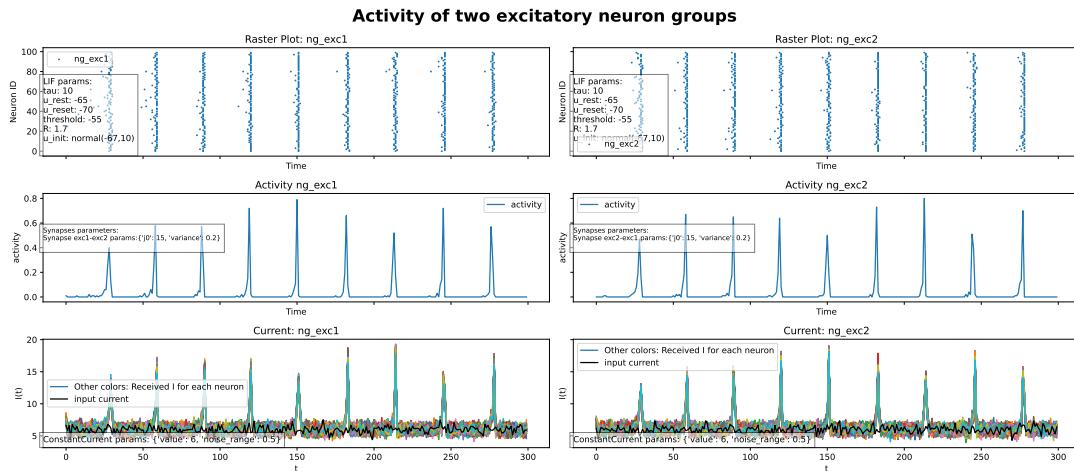
بررسی رفتار دو جمعیت

پارامتر τ_r حال به بررسی رفتار دو جمعیت که بین آن ها سیناپس قرار دارد می پردازیم. در این بخش تاثیر دو جمعیت روی یکدیگر را بررسی میکنیم. اولین حالتی که مورد بررسی قرار می دهیم، حالتی است که دو جمعیت تحريكی هستند و فقط به یکدیگر سیناپس دارند و سیناپس داخلی بین نورون های آن ها وجود ندارد. در این حالت با نتایجی که تا الان بدست آورده ایم انتظار داریم که فعالیت دو نورون شبیه یک دیگر باشند که شکل ۲۶ نیز این موضوع را تایید میکند. جریان تصادفی نیز رفتار مشابهی از خود نشان می دهد. (شکل ??)

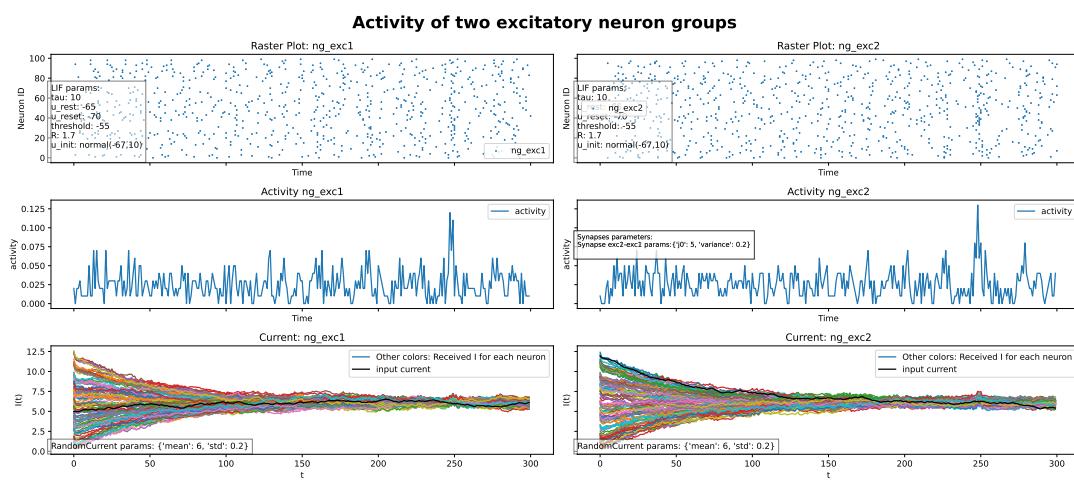
رفتار جالب دیگری که جریان تصادفی دارد، این است که در ابتدا پراکنده زمان ضربه زدن نورون ها بسیار زیاد است و الگوی خای ندارد، و همچنین فعالیت نورونی کم است، اما همانطور که از نمودار پیدا شد، این پراکنده رفته رفته کمتر شده و فعالیت نورونی نیز بیشتر می شود. این اتفاق تحت تاثیر این موضوع است که به دلیل وجود سیناپس بین دو جمعیت که به صورت رفت و برگشتی است، به گونه ای عمل کرده که هر نورون از تمام نورون های جمعیت دیگر جریان دریافت میکند و درنتیجه جریان دریافتی به نورون زیاد می شود و این جریان زیاد باعث شود تا پس از مدتی زمان ضربه زدن نورون ها به یکدیگر نزدیک شود.

حال اگر مقدار τ_r را در هر ۲ سیناپس کاهش دهیم چه اتفاقی می افتد؟ شکل ?? به این سوال پاسخ می دهد و بیان می کند که کاهش مقدار τ_r باعث می شود تا جریان سیناپسی نتواند آنقدر زیاد شود که در زمان قبلی پراکنده فعالیت نورون ها را کمتر کند و فعالیت جمعیت به صورت یک نمودار تصادفی با مقدار کم باقی می ماند.

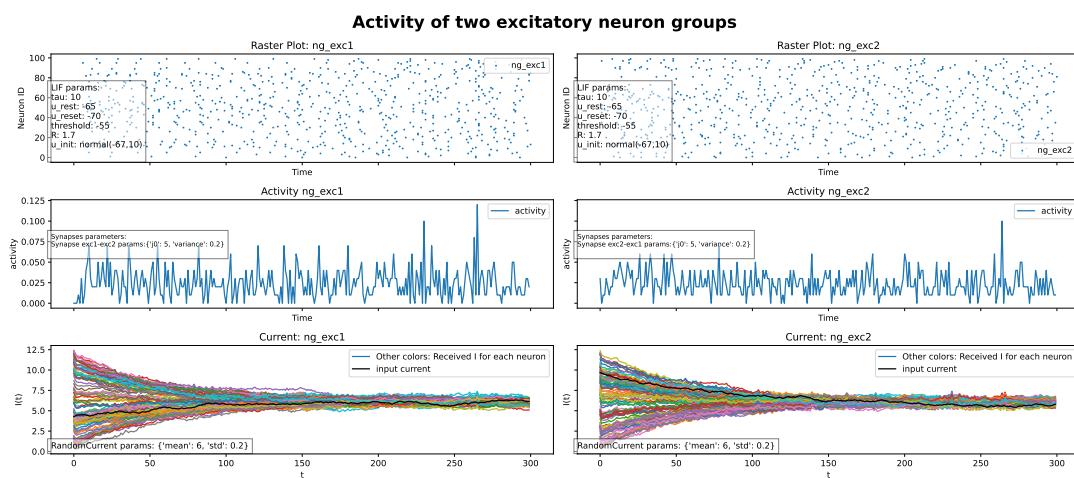
حال مقدار وزن های سیناپس بین جمعیت ۱ به جمعیت ۲ را افزایش میدهیم تا بینهم با τ_r متفاوت رفتار آن ها چه تغییری میکند. طبق شکل ۲۹ مشاهده میکنیم که فعالیت هر دو جمعیت بیشتر شده ولی جمعیت ۲ در کل فعالیت بیشتری دارد. مشابه این رفتار را در بخش اول دیدیم، هنگامی که تنها یک سیناپس از جمعیتی به جمعیت دیگر داشتیم و جمعیت پس سیناپسی فعالیت بیشتری داشت. در اینجا نیز گویا همین اتفاق می افتد. بیشتر شدن وزن های سیناپس ۱ به اینجا نیز می شود که جمعیت ۲ بیشتر ضربه بزند و درنتیجه فعالیت آن بیشتر شود، این بیشتر



شکل ۲۶: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان ثابت نویزی

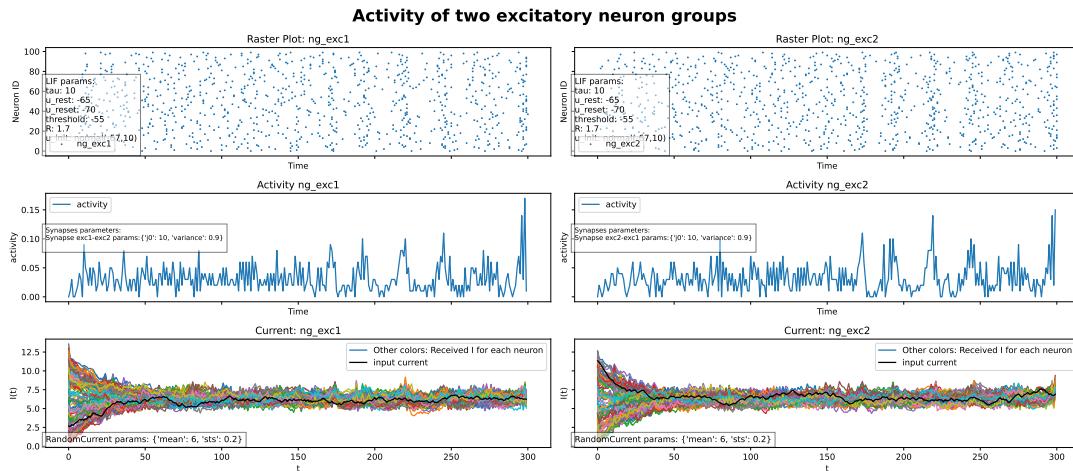


شکل ۲۷: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان تصادفی



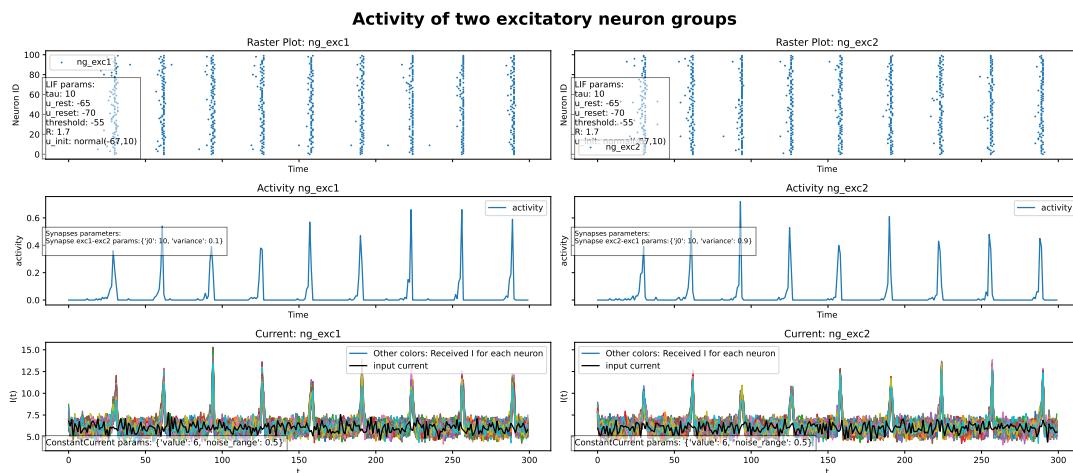
شکل ۲۸: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان تصادفی و 0.2 کم

شند فعالیت خود باعث می شود که جریان سیناپسی ۲ به ۱ نیز بیشتر شده و فعالیت جمعیت ۱ نیز بیشتر شود. اما در کل از آنجا که وزن های سیناپسی جمعیت ۱ به ۲ بیشتر است، فعالیت جمعیت ۲ بیشتر از ۱ میماند.



شکل ۲۹: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان تصادفی و j_0 متفاوت

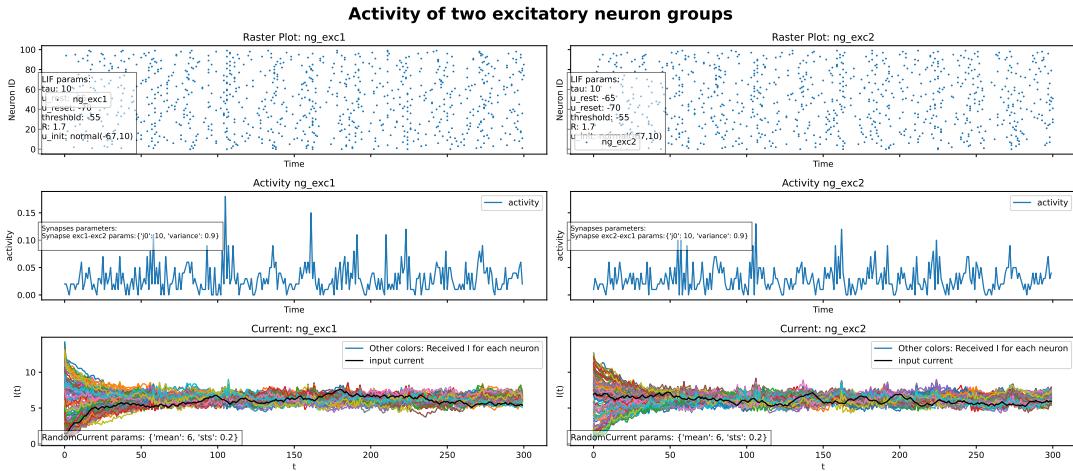
پارامتر واریانس حال با وزن های برابر با شکل ۲۶ مقادیر واریانس را افزایش داده و آن را تحلیل میکنیم. همانطور که در شکل ۳۰ و ۳۱ مشاهده می شود، افزایش واریانس به علت مشابهی که قبل تر نتیجه گرفته شد، تغییر چندانی در رفتار نورون با جریان های متفاوت ایجاد نمی کند.



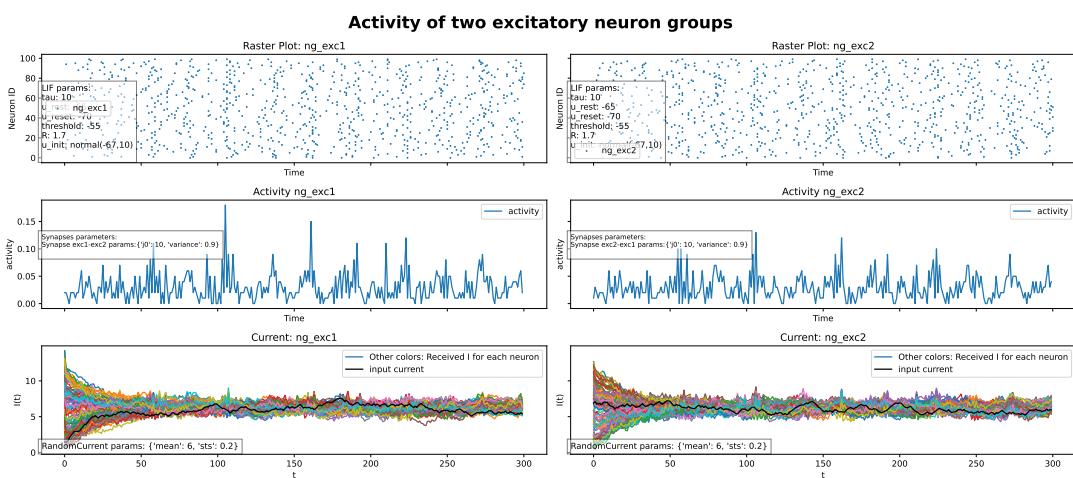
شکل ۳۰: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس زیاد

مجددآ مقدار واریانس ها را متفاوت در نظر میگیریم و طبق شکل ۳۲ مشاهده می شود که با واریانس متفاوت نیز تغییری در رفتار نورون ها اتفاق نمی افتد. طبعا نتیجه برای جریان تصادفی نیز به همین صورت است. همانطور که پیشتر گفته شد، اگر بخواهیم واریانس را به گونه ای تغییر دهیم که تاثیر قابل نمایشی داشته باشد، باید مقدار آن را زیادتر، مثلا 10^0 بگیریم. مطابق شکل ۳۳ تاثیر این مقدار نمایان است. این به این دلیل است که با خیلی زیاد شدن واریانس، بسیاری از وزن ها نیز آنقدر زیاد می شوند که تاثیر مجموع آن ها روی نورون های پس سیناپسی مشهود می شود.

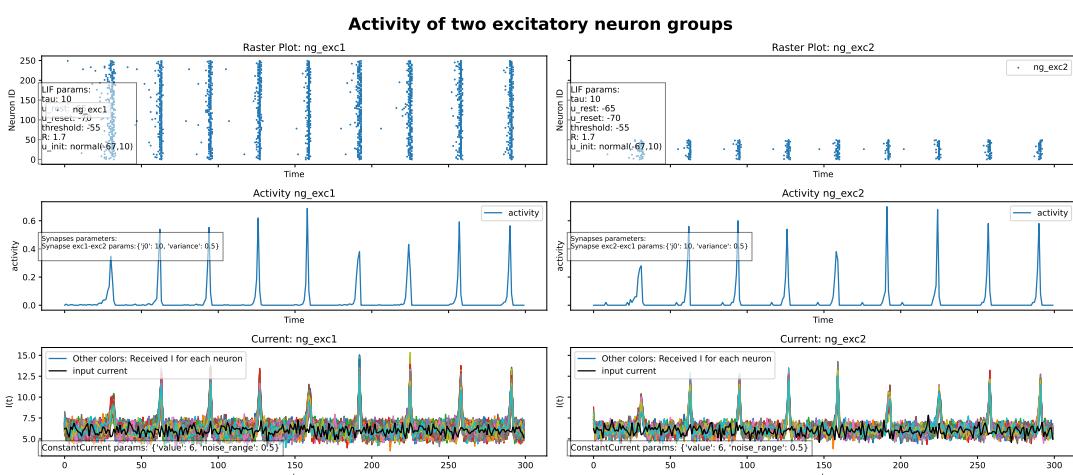
تاثیر اندازه جمعیت از آنجا که تنها دو جمعیت نورونی داریم، زیاد کردن هر دو جمعیت تاثیری مشابه تک جمعیت خواهد داشت، در نتیجه فقط حالتی را که یک جمعیت بزرگتر از دیگری است را آزمایش میکنیم. در این حالت نیز مشابه حالت های قبل میبینیم که فعالیت هر دو جمعیت پس از مدتی بیشتر می شود. هر چند میزان رشد جمعیت بزرگتر اندکی از جمعیت کوچکتر بیشتر است. (شکل ۳۴)



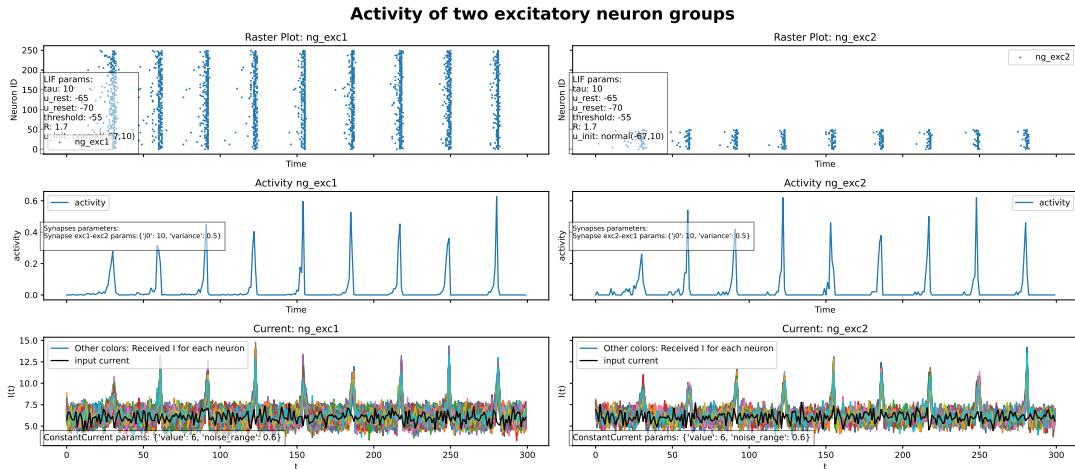
شکل ۳۱: رفتار دو جمیعت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس زیاد



شکل ۳۲: رفتار دو جمیعت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس متفاوت



شکل ۳۳: رفتار دو جمیعت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس بسیار زیاد



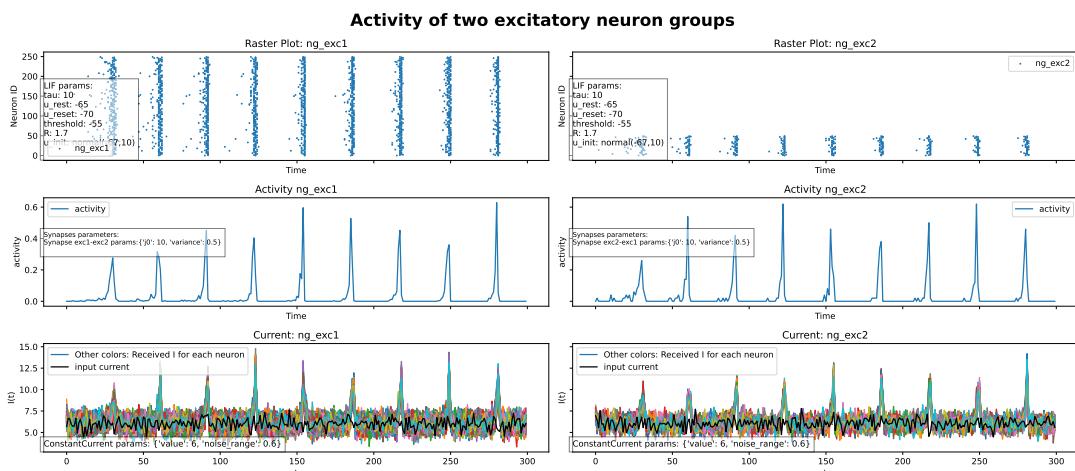
شکل ۳۴: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس بسیار زیاد

۲.۲۰۰ الگوی ارتباط تصادفی با احتمال جفت شدن ثابت

در این قسمت به بررسی رفتار الگوی ارتباط تصادفی با احتمال جفت شدن ثابت می‌پردازیم. از نظر تجربی، احتمال p که یک نورون در داخل یک ستون قشر مغز، یک اتصال عملکردی به نورون دیگری در همان ستون برقرار کند، در حدود ۱۰ درصد است، هرچند این مقدار در بین لایه‌ها متفاوت است. در شبیه‌سازی‌ها، می‌توانیم یک احتمال اتصال p را رفع کنیم و اتصالات را به طور تصادفی با احتمال p از بین تمام اتصالات N^2 ممکن انتخاب کنیم. در این مورد، تعداد اتصال‌های ورودی پیش سیناپسی C_j به یک نورون پس سیناپسی j دارای مقدار میانگین $\langle C_j \rangle = pN$ است، اما بین یک نورون و نورون بعدی با واریانس $N(p-1)$ است. از این رو در این بخش تمرکزمان را روی پارامترهایی می‌گذاریم که تاثیر متفاوت‌تری نسبت به حالت قبل دارند. در اینجا نیز مدل نورونی را مانند مدل‌های قبل در نظر می‌گیریم.

بررسی رفتار یک جمعیت

برای شروع کار، باید رفتار یک جمعیت را با جریان ثابت بررسی کنیم. همانطور که از شکل ۳۵ برویم، رفتار نورون همانند الگوی ارتباط قبلي بوده و پس از مدتی، پراکنده‌گی زمان ضربه زدن نورون‌ها کمتر شده و فعالیت رفته رفته بیشتر می‌شود. دلیل این امر نیز مشابه الگوی قبل، زیاد شدن جریان سیناپسی است.



شکل ۳۵: رفتار دو جمعیت نورونی با دو سیناپس و جریان نویزی و واریانس بسیار زیاد

کتاب‌نامه

- [۱] Computational Neuroscience Course, School of computer science, University of Tehran
- [۲] PymoNNtorchPytorch-adapted version of PymoNNto
- [۳] Wiki-pedia: Refractory_period_(physiology)
- [۴] Neuronal Dynamics, Wulfram Gerstner, Werner M. Kistler, Richard Naud and Liam Paninski