

بناام خدا

گزارش تمرين ۳

آرشام لؤلؤلهری

۹۹۱۰۲۱۵۶

## خلاصه ای از توضیحات dataset:

این دیتاست، حین انجام یک تسک توسط یک موش انجام شده و این تسک،  
“Visual contrast detection and discrimination” نامیده شده.

طراحی این تسک توسط گروه Burgess, Lak, Steinmetz, Zatka-Haas انجام شده

(et al, Cell Reports 2017). تسک بدین شکل بوده که یک موش در معرض ۳ صفحه نمایش به صورت ۳ ضلع یک مربع قرار گرفته و باید با دستهایش یک چرخ لاستیکی که جلوی قرار گرفته را در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد بچرخاند و در صورتی که این کار را درست انجام دهد، بعنوان Reward، از طریق یک لوله به موش آب داده میشود. ضمناً یک head-fix هم برای ثابت کردن سر موش و قرار دادن آن در مکانی دقیق و درست نسبت به تحریک، استفاده شده.

سه نوع تریال مختلف داریم:

- (۱) در برخی تریالها، یک تصویر هاشورخورده ی دایروی در صفحه نمایشی که سمت چپ موش قرار دارد، ظاهر میشود (و یا در هردو صفحه ی راست و چپ ظاهر میشود، اما contrast در سمت چپ بیشتر است) و موش باید با چرخش ساعتگرد چرخ، این تصویر را به صفحه نمایش وسط بیاورد. (choose left)
  - (۲) در برخی دیگر، این تصویر در صفحه نمایش سمت راست ظاهر میشود و موش باید چرخش پادساعتگرد انجام دهد. (choose right)
  - (۳) در نوع سوم نیز هیچ تصویر خاصی ظاهر نمیشود و موش باید برای 1.5 ثانیه چرخ را ثابت نگه دارد تا جایزه بگیرد. (choose NoGo)
- علت نام این تسک نیز این است که موش در اصل باید صفحه نمایشی که دارای contrast بیشتری است را تشخیص دهد.

سپس طبق توضیحات ویدیو، نمودارهایی رسم شده که نشان میدهد میزان contrast تصویر هاشور خورده، تاثیر مستقیمی در درستی انتخاب موش داشته. مثلاً اگر هاشور در

صفحه ی سمت راست قرار داشته، با افزایش contrast در تصویر، احتمال درست انتخاب کردن (درصد انتخاب های راست) افزایش پیدا میکند.

دیتاگیری شامل 39 recording session و نیز 9538 تا ترايال بوده است و مجموعاً از 29134 نورون در 10 موش دیتا گرفته شده است. (مکان های ثبت دیتا برای هر موش توسط چند نمودار در ویدیو آورده شده است). در مجموع دیتاگیری از ۴۲ ناحیه ی مغزی موش انجام شده که نام تمامی آنها در ویدیو آورده شده است.

دیتا ها توسط دو probe گرفته شده اند که اولین آنها دیتای نواحی ای مثل Secondary Motor Cortex، و دومی نواحی Primary Visual Cortex تا Thalamus را ثبت کرده است.

در ادامه نرخ اسپایک تک نورون ها، نسبت به زمان شروع تحریک اندازه گیری شده. برای یک نورون در Primary visual cortex، دیده شده که firing rate پس از stimuli onset افزایش پیدا کرده (و البته میزان این افزایش با contrast تصویر نسبت مستقیم دارد). اما جالب تر این است که در نورون های secondary visual cortex و حتی سایر نواحی مغز که نورون ها بررسی شده اند، افزایش نرخ اسپایک را پس از شروع تحریک میتوان دید.

حال به پرسش ها میپردازیم:

پس از `import` کردن پکیج ها و لود کردن دیتاست، در داخل متغیر `dat` تمام اطلاعات موردنیاز از دیتاست موجود است. برای مثال، نام موش `Lederberg` بوده که با استفاده از `dat['mouse_name']` در کد نمایش داده شده.

سپس آرایه ی `response` را میسازیم که در آن پاسخ های موش در هر ترایال نمایش داده شده. عدد ۱- به معنی پاسخ (تحریک `visual`) در سمت راست، عدد ۱ به معنی پاسخ در سمت چپ و عدد ۰ به معنی حالت `NoGo` است.

سپس باید تعداد ترایالهایی که جواب توسط موش، سمت راست یا چپ در نظر گرفته شده، و یا `NoGo` بوده را به تفکیک حساب کنیم. طبق توضیحات آورده شده، `dat['spks']` یک ماتریس ۳ بعدی با ابعاد `neurons*trials*timeBins` است که باینری است و درایه صفر در آن به معنی عدم وجود، و درایه ۱ به معنی وجود اسپایک در یک نورون مشخص در یک ترایال مشخص و یک بازه زمانی (۱۰ میلی ثانیه ای) مشخص است. پس این ۳ بعد، تعداد کل نورون ها، ترایالها و دسته بندی های زمانی را به ما میدهد.

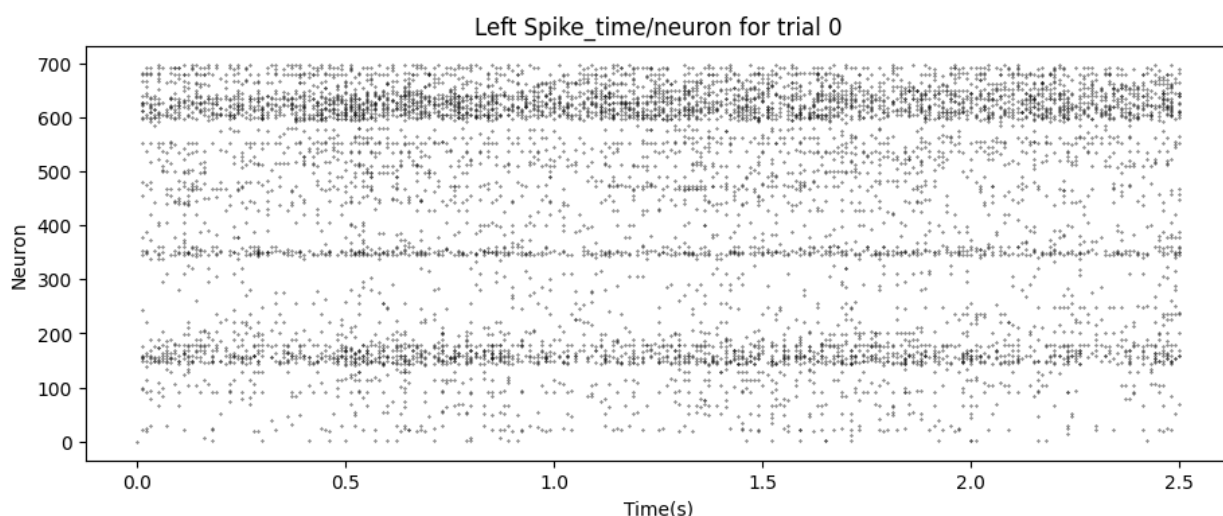
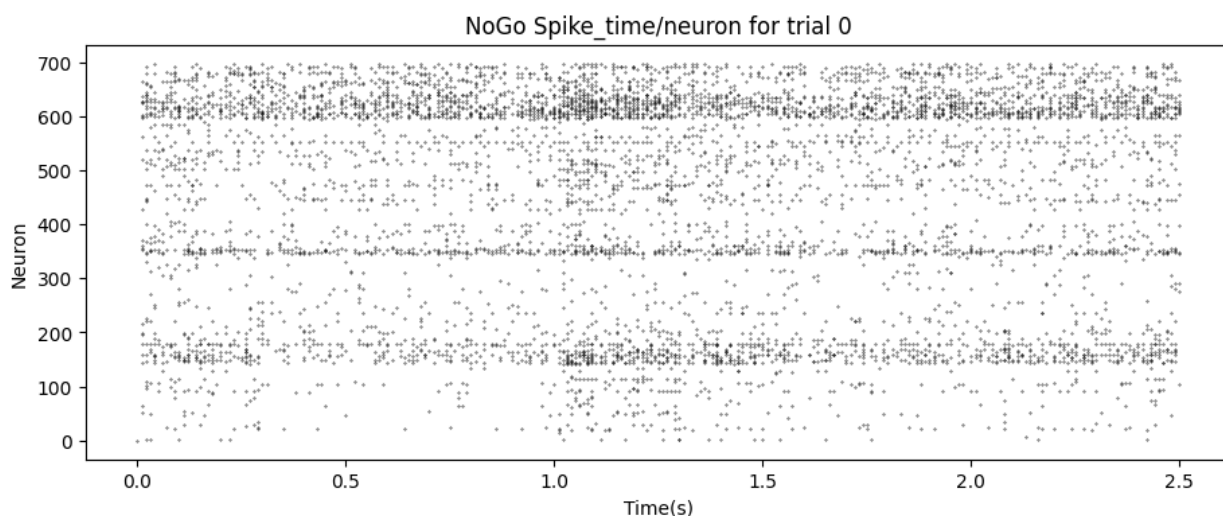
برای تفکیک ترایلها نیز کافیست از `response` استفاده کنیم. مثلاً در هر ترایالی که `response` مقدار ۱- داشته باشد، ترایال از نوع `right` بوده است، و به همین ترتیب برای دو نوع ترایال دیگر.

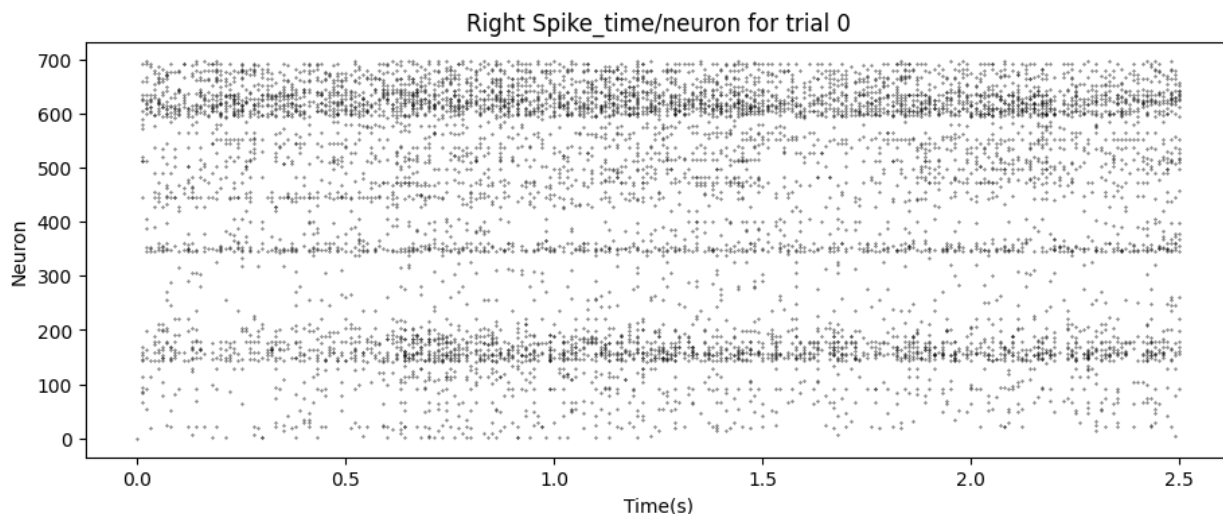
پس کافیست یک حلقه ی `for` روی این `array` بزنیم تا تعداد ۱- ها، تعداد ۱+ ها و تعداد ۰ ها را در آن پیدا کنیم و در متغیر های متناظرشان بریزیم. تعداد هر نوع از ترایال در کد `print` شده است که برای راست، چپ و `NoGo` به ترتیب برابر است با: ۱۴۱ و ۱۳۵ و ۶۴.

حال برای پیدا کردن دیتای مربوط به هر نوع ترایال، کافیست در بعد دوم از ماتریس سه بعدی `dat['spks']`، ترایالهایی را نگه داریم که `response` متناظرشان ۱-، ۱+ یا ۰ باشد و بدین ترتیب این دیتا ها از هم تفکیک میشوند. حال میتوان با `scatter`، اسپایک های اولین ترایال از هر نوع دیتا را رسم کرد، طوریکه محور افقی زمان باشد و محور عمودی شماره نورون. توجه داریم تعداد دسته های زمانی ۲۵۰ تاست و `dt=0.01s`. پس

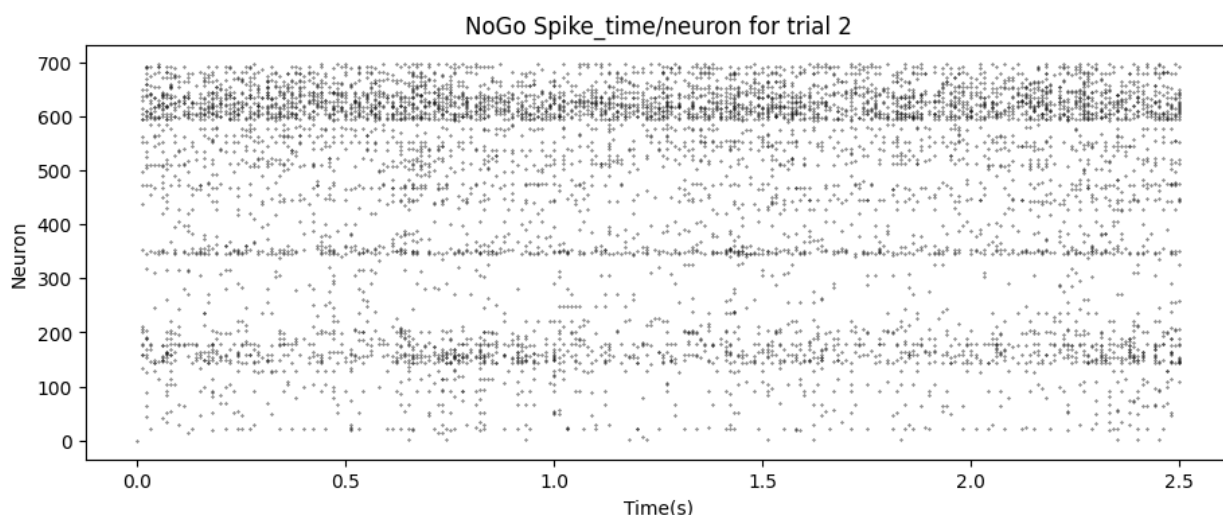
کل مدت زمان ثبت شده در هر ترایال، از صفر تا 2.5s است. تعداد نورون ها نیز 698 تاست.

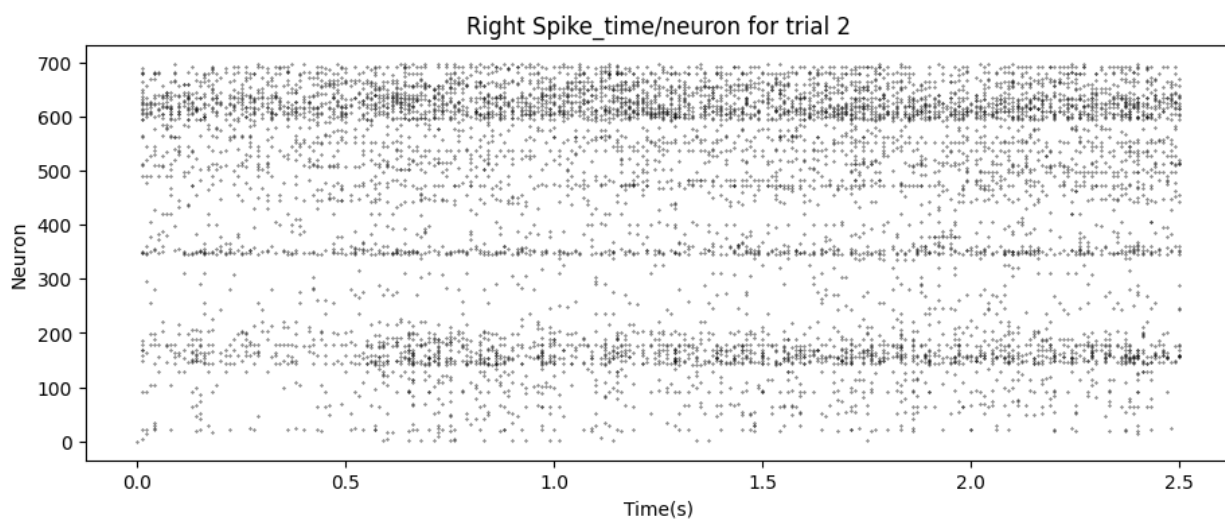
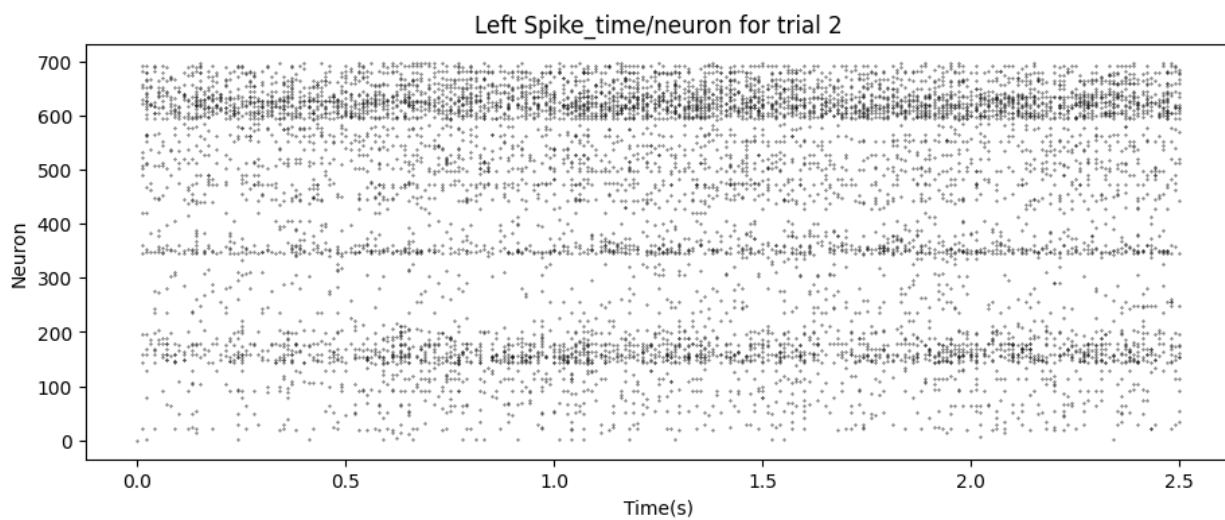
برای رسم scatter، سه دیتای مختلف داریم که همان سه نوع دیتاست اصلی ما هستند، اما فقط ترایال اول آنها حفظ شده است (slct\_NoGo\_data و...). حال باید از دوتا for استفاده کنیم تا بینیم روی این سه دیتا، به ازای هر نورون و هر بازه زمانی، اسپایک داریم (data!=0) یا خیر. اگر داشته باشیم، یک المان به محور افقی و عمودی مان برای رسم scatter اضافه میشود که المان محور افقی، زمان (time) است و المان عمودی نیز شماره نورون. بدین ترتیب پس از تکمیل محورهای افقی و عمودی، با scatter نمودار ها را رسم میکنیم:



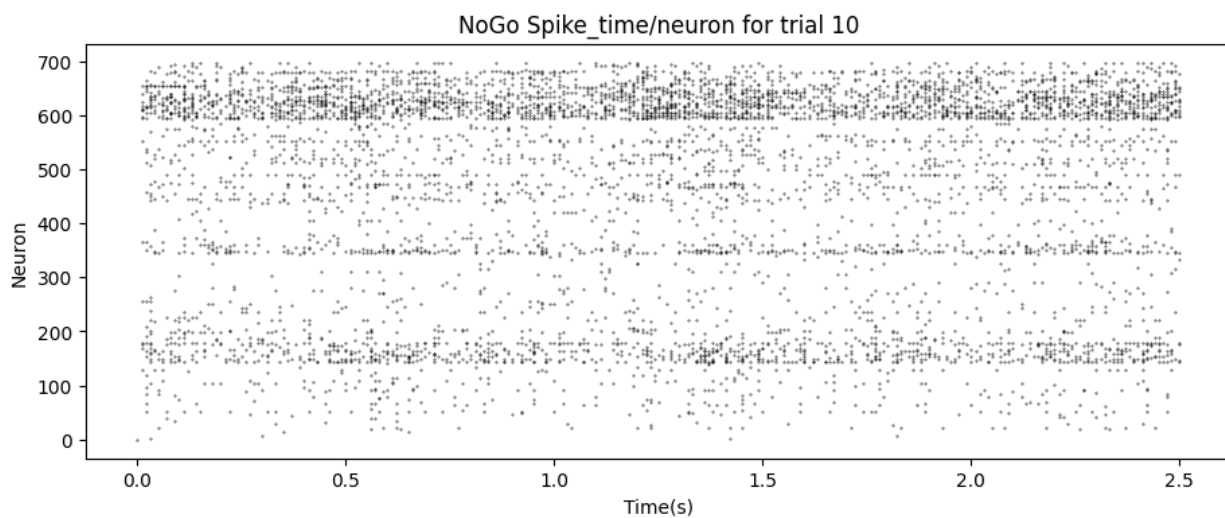


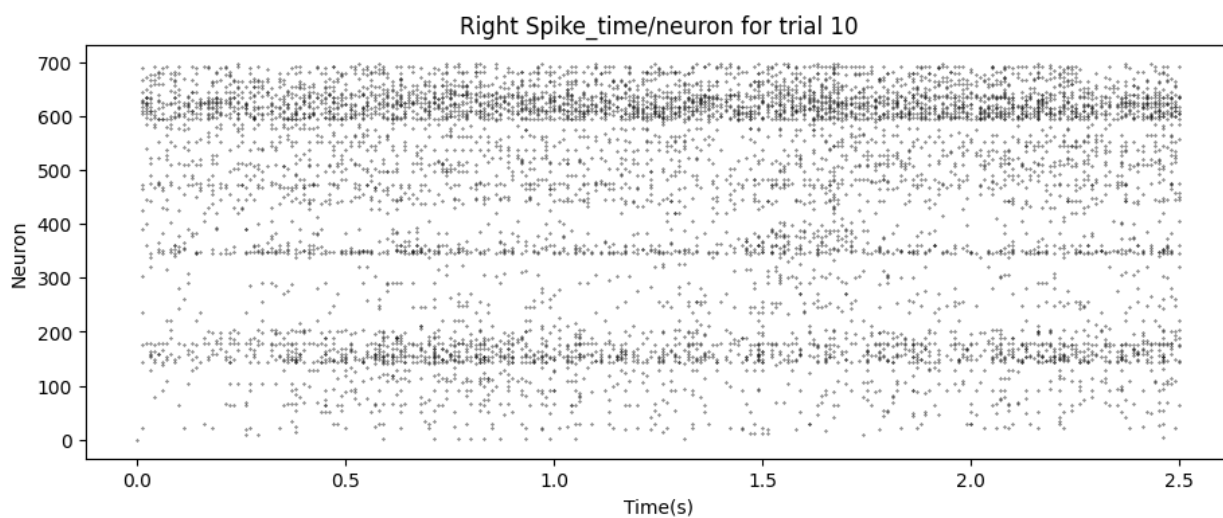
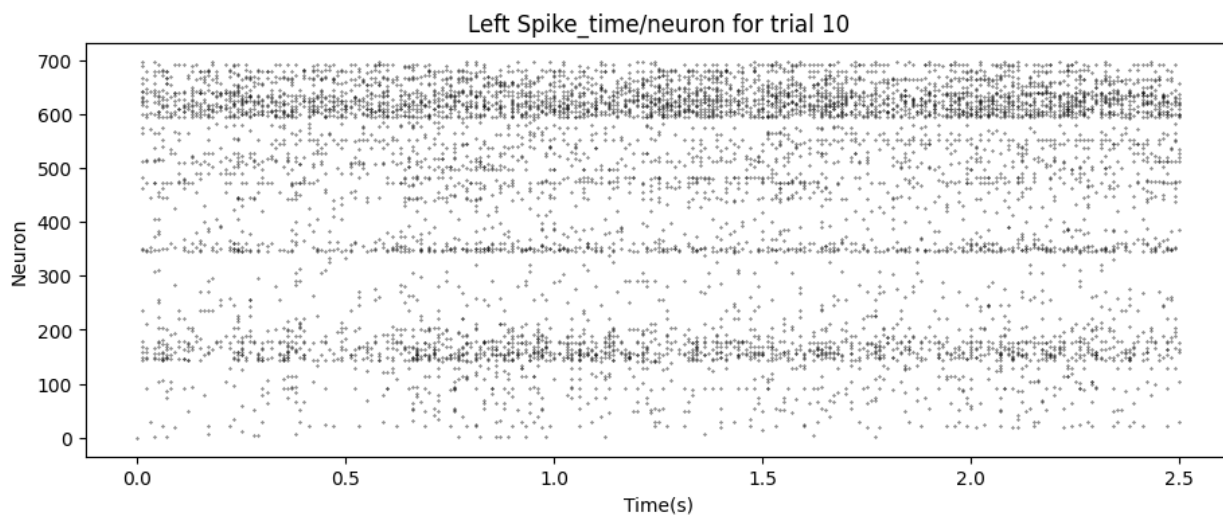
میبینیم که در هر سه نوع تراپال، نرخ اسپایک برای برخی نورون ها زیادتر از مابقی است (مثلا نورون های حوالی ۳۵۰، ۱۵۰ و نیز نورون های ۶۰۰ تا ۷۰۰) و این اسپایک زدن در بسیاری از نورون ها، در سرتاسر بازه زمانی ادامه دارد. حال برای دو تراپال دیگر نیز همین ترسیم را انجام می‌دهیم (توجه: طبیعتا منظور از تراپال 0 در هر نمودار، اولین تراپال از آن نوع است و نه اولین تراپال از کل تراپالها!):





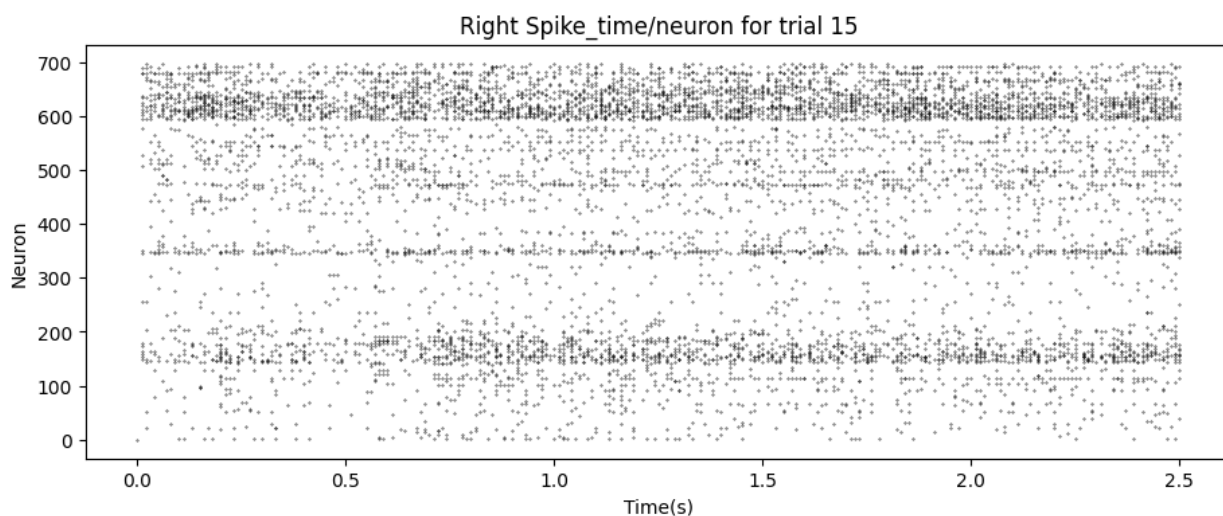
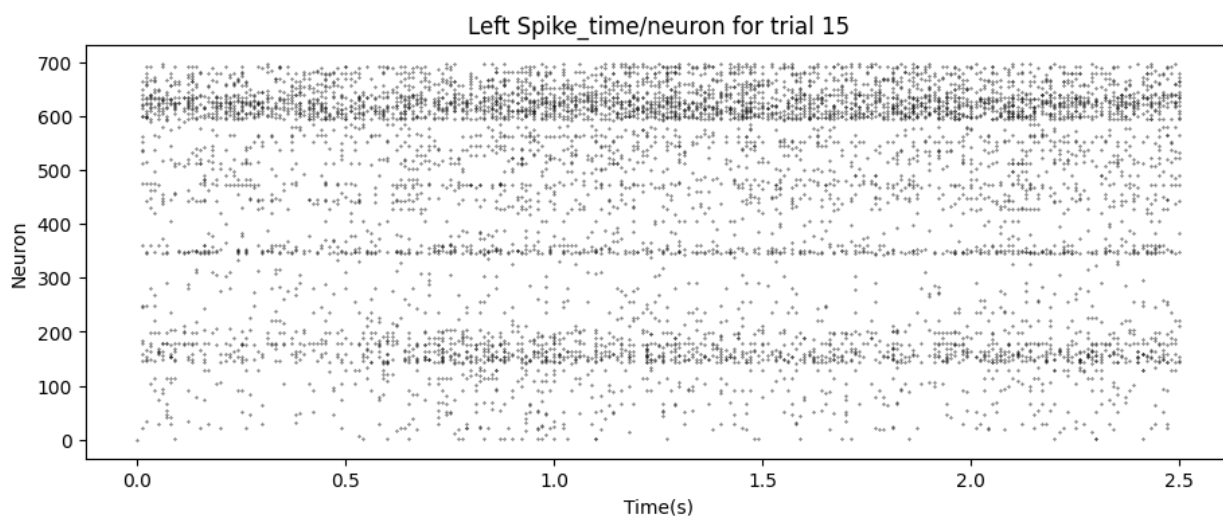
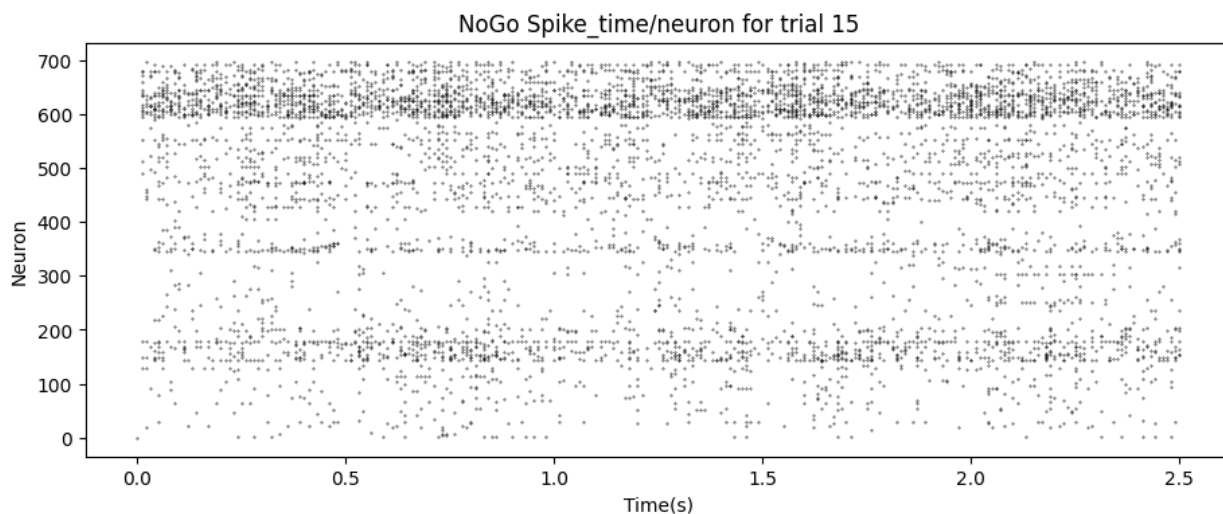
برای ترایال ۱۰:





و برای تریال ۱۵:





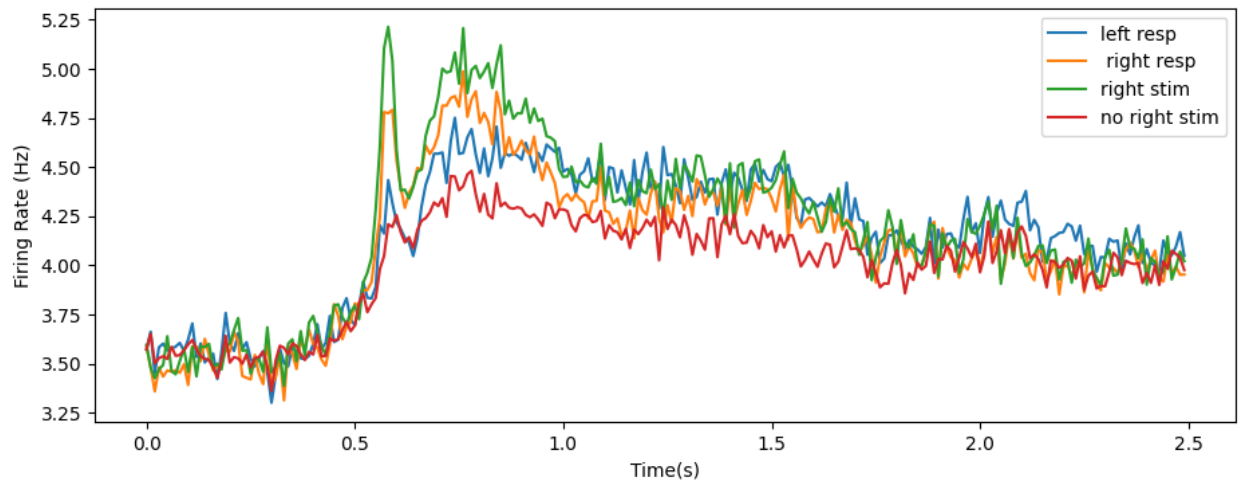
برخلاف الگوهای مذکور، برخی الگوها نیز بطور خاص در برخی از ۳ نوع ترایال وجود دارند. مثلا در ترایال های right، میتوان دید که در هر سه ترایال رسم شده در بالا، نرخ اسپایک نورون های حوالی ۱۰۰ تا ۲۰۰، در حدود زمانی ۰.۵ به بعد افزایش محسوسی دارد. این الگو در دو نوع دیگر کمتر دیده میشود و یا فقط در برخی ترایالها موجود است.

این الگو در همین نوروها و بازه زمانی، تا حدی در NoGo نیز وجود دارد (بجز ترایال ۰) اما در حوالی زمان 1s، نرخ اسپایک دوباره افت میکند و این موضوع، الگو را از right متمایز میکند.

ضمناً میتوان گفت در حوالی زمان 1s، مقدار اسپایک ها در ترایالهای چپ، تا حدی بیشتر از دو نوع ترایال دیگر میشود.

## Basic Population Average:

در این بخش باید میانگین دیتاها را بعنوان نرخ اسپایک، در حالات مختلف ترایالها رسم کنیم. ترایالهایی که پاسخ موش در آنها left, right یا NoGo بوده را مشابه قبل پیدا میکنیم. اما این بار میخواهیم ترایالهایی که جواب "صحیح" یا همان تحریک در سمت راست، چپ یا هیچکدام بوده را نیز از هم تفکیک کنیم. برای پیدا کردن دیتای ترایالهایی که جواب صحیح سمت چپ بوده، کفایست در ماتریس سه بعدی `dat['spks']`، در بعد دوم، این شرط را بررسی کنیم که `contrast_left > contrast_right` بوده باشد. بدین ترتیب فقط ترایالهای چپ را خواهیم داشت. برای ترایالهای سمت راست و NoGo نیز همینکار را انجام میدهیم و با احتساب ۳ نوع داده ی تفکیک شده بر حسب بردار `response`، در مجموع ۶ نوع دیتای تفکیک شده خواهیم داشت. طبق خواسته ی سوال، یک دیتای هفتم نیز به اینها اضافه میکنیم که دارای این شرط است که تحریک سمت راست نبوده باشد (یعنی `contrast_left >= contrast_right`). سپس ترتیب میتوان از هریک از این ۷ دیتا، در بعد های اول و دوم (به ترتیب: بعد های نوروها و ترایالها) میانگین گرفت تا خواسته ی سوال محقق شود. نمودار را برای ۴ تا از این ۷ دیتای میانگین، بر حسب زمان رسم میکنیم که به شرح زیر هستند (در رسم نمودارها توجه داریم که چون نرخ اسپایک را میخواهیم، این دیتاهای میانگین باید بر `dt` نیز تقسیم شوند):



مشاهده میشود که به مراتب زمانی که تحریک سمت راست بوده و یا موش سمت راست را انتخاب کرده، نرخ اسپایک بالاتر از سایر حالات بوده است. در تمام حالات، از بعد از  $t=0.5s$  افزایش مشهودی در firing rate داشته ایم اما این افزایش در ترایالهای right واضحاً بیشتر بوده است. بعد مدت کوتاهی از رسیدن نمودارها به اوج، یک دره ظاهر میشود و سپس دوباره firing rate افزایش می یابد. از حوالی زمان  $t=1s$  نیز همه نمودارها از مقدار پیک خود فاصله میگیرند و در مقادیر کمتری نوسان میکنند. این کاهش برای ترایالهای چپ کمتر از بقیه است و موجب میشود در حوالی  $t=1s$ ، ترایالهای چپ اندکی از بقیه بیشتر شوند. اما میتوان گفت ترتیب نمودارها برای ۴ نمودار دیگر، همچنان مثل سابق است.

پس از آن همه نمودارها به تدریج نرخ اسپایکشان کاهش می یابد و به یکدیگر نیز نزدیک هستند. بنابراین اوج فاصله نرخ اسپایکها از یکدیگر، در همان حوالی اولین پیک، یعنی حدود زمان  $t=0.6s$  رخ میدهد.

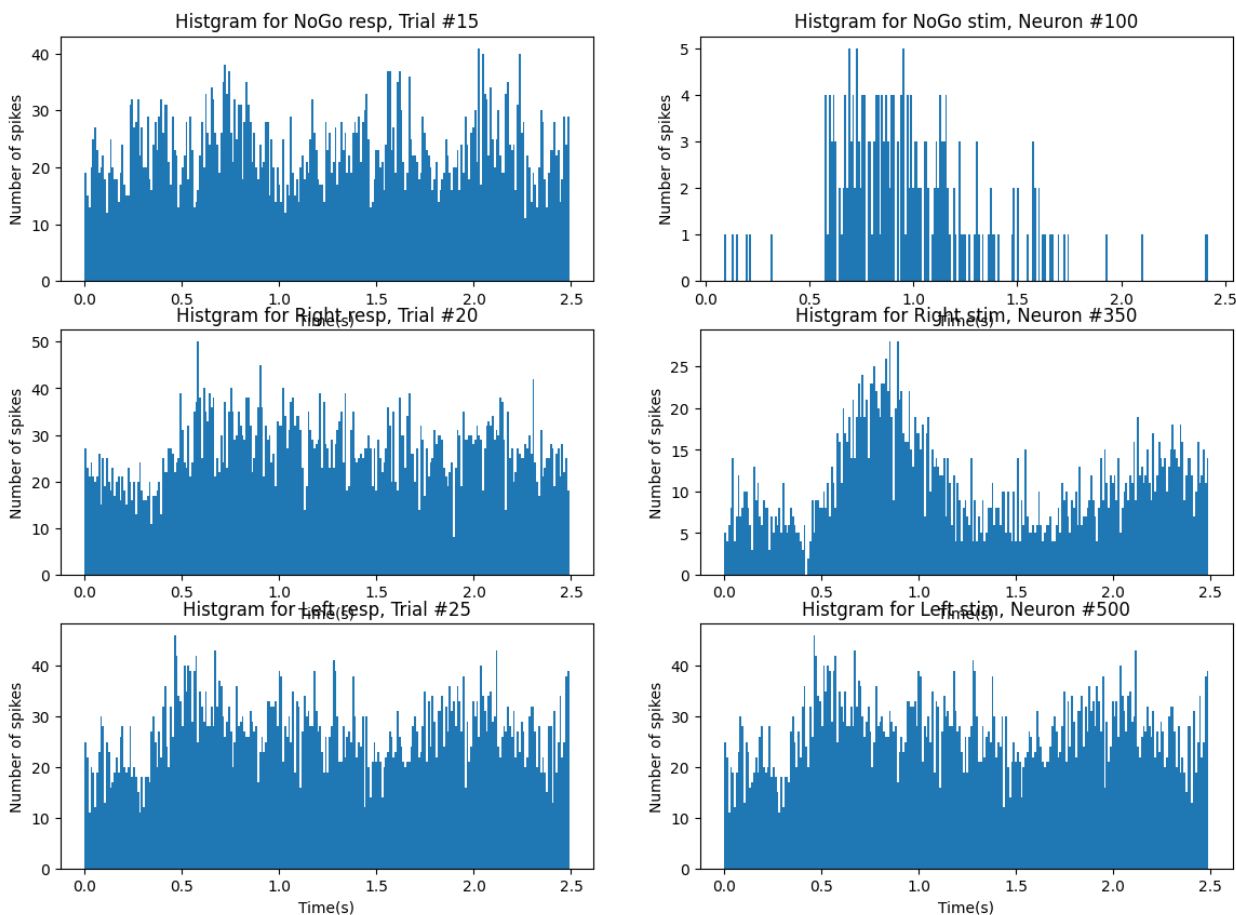
## The Peri-Stimulus Time Histogram (PSTH):

در این بخش باید هیستوگرام اسپایکها را برحسب زمان رسم کنیم. برای اینکار دو تابع singleNeuronHist و singleTrialHist را تعریف میکنیم که اولی هیستوگرام را روی یک تک ترایال (across neurons) و دومی روی یک تک نورون (across trials)

رسم میکند. برای `singleTrialHist`، باید دیتای موردنظر (از بین ۶ نوع دیتایی که قبلاً توضیح داده شدند) و نیز شماره ترايال از این دیتا را بعنوان ورودی بدهیم. بردار زمانی را در `t_arr` تعریف میکنیم و سپس با استفاده از دو تا `for`، یک زمان و نورون مشخص در ترايال مدنظر را انتخاب میکنیم. اگر دیتا در این مکان برابر با ۱ باشد، اسپایک داریم و باید زمان متناظر با این درایه را بعنوان یکی از داده های نمودار `histogram` ثبت کنیم. این کار در `spikeTimes_arr` انجام میشود و در نهایت همین متغیر خروجی تابع خواهد بود. بطور مشابه تابع `singleNeuronHist` را نیز تعریف میکنیم.

حال باید مشابه روش سابق، ۶ نوع دیتا را تعریف کنیم (پاسخ موش سمت راست، چپ یا NoGo باشد، یا تحریک سمت راست، چپ یا NoGo باشد). شش نمودار برای ۶ نوع دیتای مختلف رسم میشود که در ۳ تای آنها (ستون چپ)، نمودار روی تک ترايال، و در ۳ تای دیگر (ستون راست) روی تک نورون رسم شده است.

در زیر این ۶ نمودار را میبینیم. نوع دیتا و نیز شماره ی ترايال/نورون در `title` ها آمده است:



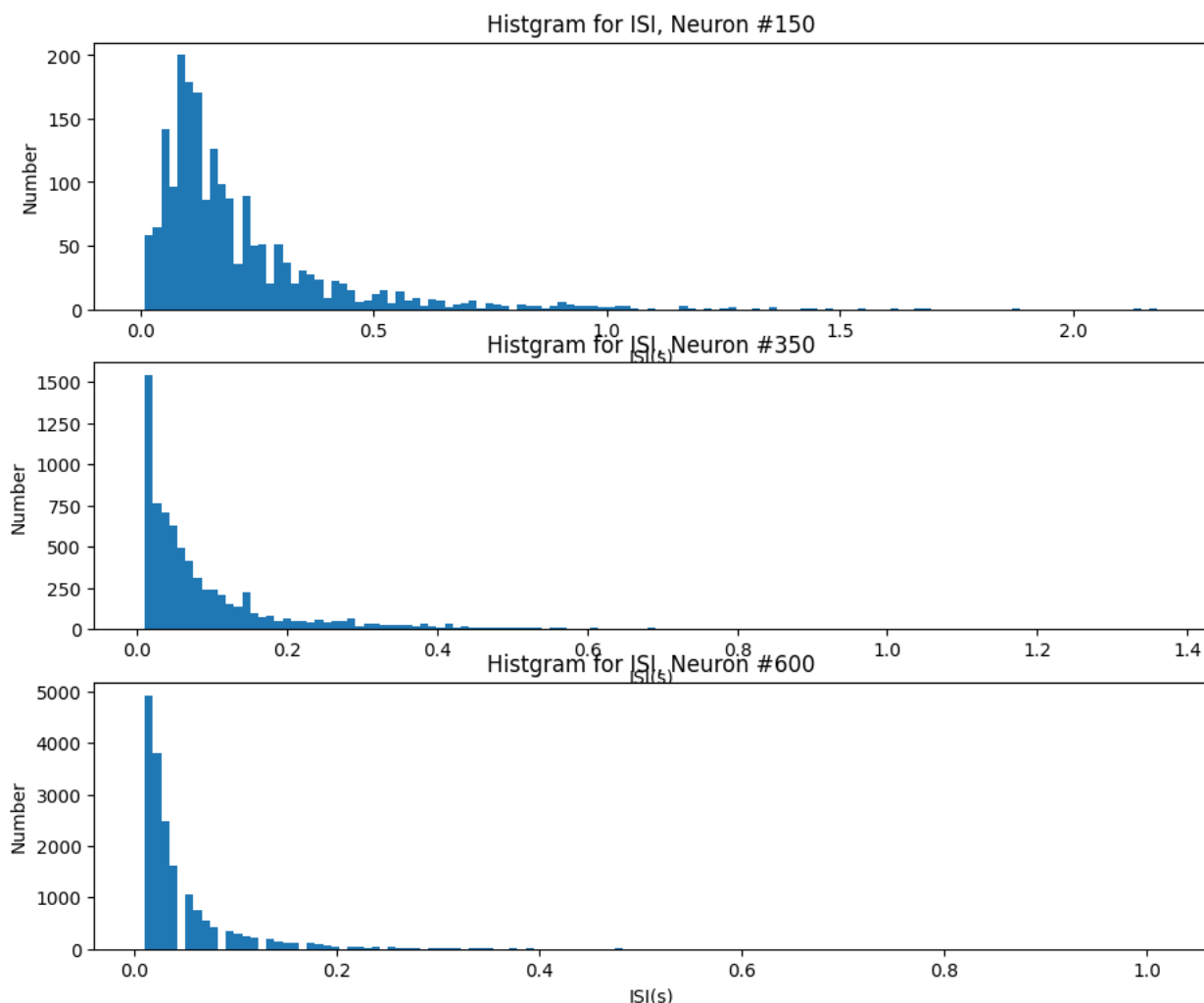
میبینیم که در تمام نمودارها و به ویژه نمودارهای تک ترايال، افزایش نرخ اسپایک بعد از حدود زمانی  $t=0.5s$  مشهود است و ضمناً افت  $\text{firing rate}$  در حوالی  $t=1s$  را نیز میتوان دید که با نتایج قبلی همخوانی دارد. ضمناً مشاهده میشود که در نمودارهای تک ترايال، به صوت میانگین نرخ اسپایک برای ترايالهای  $\text{right}$  بیشتر از بقیه است که این نیز با نتایج قبل همخوانی دارد.

در نمودارهای تک نورون، نورون های ۱۰۰ و ۳۵۰ و ۵۰۰ رسم شده اند. طبق  $\text{scatter}$  هایی که قبلاً رسم کردیم، دیدیم که نورون های ۳۵۰ و ۵۰۰ تقریباً جزو نواحی ای با نرخ اسپایک زیاد هستند و در نتیجه هیستوگرام دارای  $\text{firing rate}$  های زیادتری است. اما نورون ۱۰۰ جزو نواحی با نرخ اسپایک کم است و صرفاً اندکی اسپایک بعد از زمان  $0.5s$  دارد و به تدریج دوباره به سمت صفر میرود.

## Inter-spike intervals and their distributions

برای رسم هیستوگرام های  $ISI$ ، تابعی مشابه `singleNeuronHist` با نام `ISI_singleNeuronHist` تعریف میکنیم. عملکرد کلی تابع مشابه قبل است با این تفاوت که در انتهای هر ترايال، با استفاده از `np.diff()`، فاصله زمانی هر جفت اسپایک را محاسبه میکند و آن را در آرایه ی  $ISI$  ها (`ISI_arr`) میریزد. در نهایت نیز `ISI_arr` خروجی تابع خواهد بود.

در اینجا به ازای ۳ نورون مختلف و روی همه ترايالها، این هیستوگرام را رسم کرده ایم:

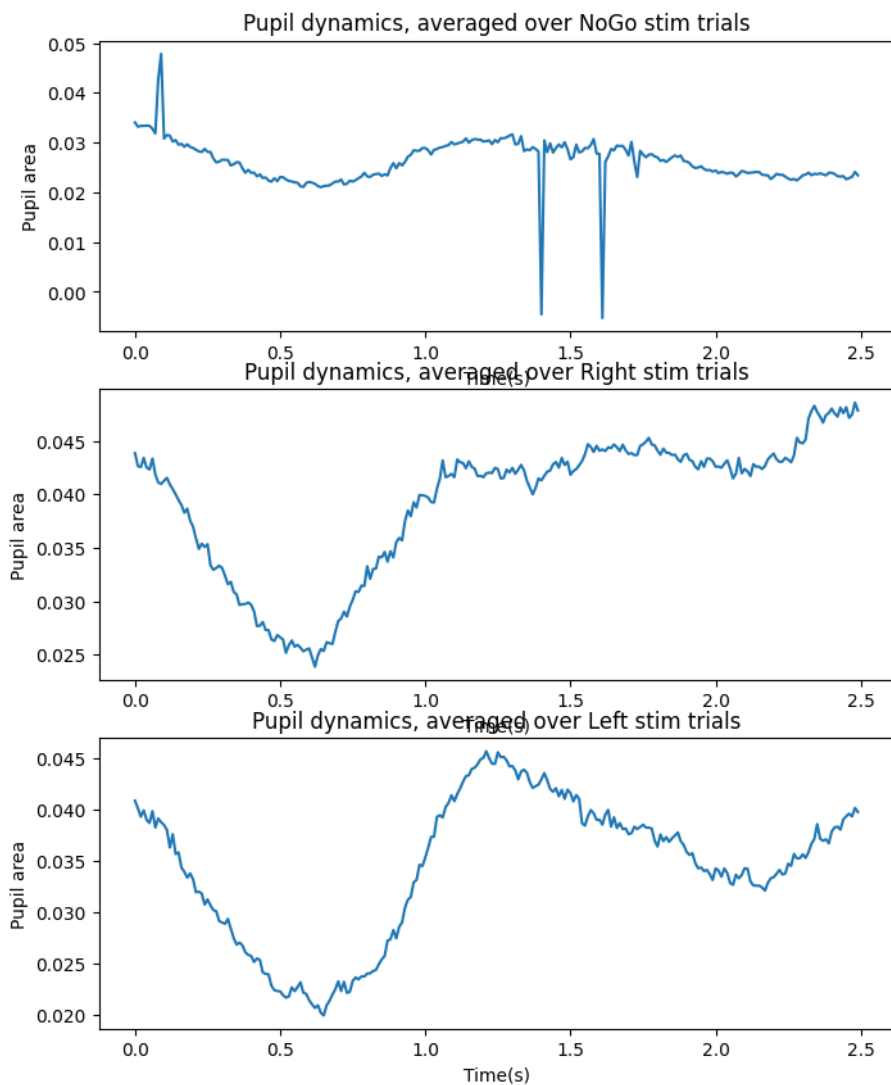


بین این سه نورون، نورون ۶۰۰ بیشترین اسپایک را در طول زمان میزند (از scatter ها نیز مشخص است). پس از آن نیز به ترتیب نورون های ۳۵۰ و ۱۵۰ هستند. مشاهده میشود در نورون هایی که اسپایک های بیشتری دارند، هیستوگرام در نزدیکی صفر متمرکزتر است. علت آن است که بدلیل زیاد بودن تعداد اسپایک در هر تراپال، نورون فرصت کمی بعنوان **refractory period** دارد و پس از اسپایک سریعاً انرژی خود را بازگردانده و مجدداً اسپایک میزند. اما در نورون هایی مثل ۱۵۰ که تعداد و نرخ اسپایک کمتری دارند، فاصله دو اسپایک در این **timeline** میتواند بیشتر باشد و مشاهده میشود که برخی جاها به بیش از ۱ ثانیه هم میرسد. پس در این نوع نورون ها، توزی پهن تری با تمرکز کمتر در نزدیکی صفر داریم.

## Behavioral data:

دیتای موجود در `dat['pupil']`، یک ماتریس سه بعدی با ابعاد  $3 \times 340 \times 250$  است. بعد اول به ترتیب شامل مساحت مردمک، و موقعیت افقی و عمودی آن است و بعد های بعدی نیز به ترتیب مربوط به شماره ترایال و زمان هستند. پس ما در هر زمان از هر ترایال، اطلاعات مردمک را داریم.

حال ما میخواهیم نمودار مساحت مردمک را بر حسب زمان رسم کنیم. پس از بعد اول، فقط سطر اول را نیاز داریم. در بعد دوم (ترایالها)، سه نوع دیتا را به روش سابق و بر حسب اینکه ترایال `right`, `left` یا `NoGo` باشد، جدا میکنیم و ۳ نوع دیتای behavioral مختلف و تفکیک شده میسازیم. در هر یک از این سه نوع دیتا، روی ترایالها میانگین میگیریم و میانگین مساحت مردمک در هر نوع دیتا را رسم میکنیم:



مشاهده میشود اندکی پس از زمان  $t=0.5s$ ، یعنی همان جا که نرخ اسپایک نوروں ها زیاد میشود، مردمک کوچک شده است. از طرف دیگر، دیده بودیم در برخی نوروں ها و ترایالها، پس از زمان  $t=1s$  کاهش نرخ اسپایک داریم و در اینجا نیز افزایش مساحت مردمک در این حدود زمانی مشهود است. بطور کلی میتوان عکس روند تغییر  $\text{firing rate}$  را در گذر زمان در تغییرات مساحت مردمک مشاهده کرد. البته تغییرات مردمک در NoGo ها کمتر نوسان دارد اما باز هم  $\text{pattern}$  حفظ شده است. الگوی تغییر مردمک در left و right تا حد خوبی شبیه به هم هستند و این الگو میتواند به خوبی ظاهر شدن تحریک دیداری را نشان دهد. این توضیحات نشان میدهد تا حد خوبی، رابطه ی معکوس (negative correlation) بین نرخ اسپایک و مساحت مردمک وجود دارد.