



Sharif University of Technology
Department of Electrical Engineering

EE 25710-2

Introductory Computational Neuroscience

Winter-Spring 1396-97

Homework 1

Due Date: دوشنبه ۲۱ اسفند

نحوه‌ی تحویل: (عدم رعایت سیستم نام‌گذاری مذکور موجب کسر نمره می‌شود.)

- ❖ گزارش کار با فرمت HW01_FamilyName_StudentNumber.pdf: در گزارش باید به تمامی سوالات تمرین پاسخ دهید، نمودارها و نتایج به دست آمده را ارائه کرده و توضیحات کلیه‌ی فعالیت‌هایتان را مکتوب کنید.
- ❖ فایل اصلی متلب با فرمت HW01_FamilyName_StudentNumber.m: شامل کدی که تمام بخش‌های تمرین را اجرا کند. کد باید کامنت‌گذاری مناسب داشته باشد و بخش‌های تمرین در آن تفکیک شده باشند.
- ❖ تمامی آنچه که اجرا شدن کد به آن‌ها نیاز دارد: توابعی که خواسته شده تا بنویسید، دیتایی که خواسته شده تا ضمیمه کنید و ...
- تمامی فایل‌های مورد نظر را در پوشه‌ای با فرمت HW01_FamilyName_StudentNumber.rar یا zip. روی سامانه‌ی CW بارگذاری کنید.

معیار نمره‌دهی:

- ❖ ساختار مرتب و حرفه‌ای گزارش: ۱۰٪
 - ❖ استفاده از توابع مناسب و الگوریتم‌های مناسب و کامنت‌گذاری کد: ۱۰٪
 - ❖ پاسخ به سوال‌های تئوری و توضیح روش‌هایی که سوال‌ها از شما خواسته‌اند: ۴۰٪
 - ❖ خروجی کد و گزارش آن برای خواسته‌های مسائل: ۲۰٪ + ۲۰٪
 - ❖ برای روش‌های ابتکاری، خلاقانه و فرادرسی‌ای که موجب بهبود کیفیت تمرین شود: ۱۵٪+
- توجه داشته باشید که ممکن است بعضی از سوال‌ها و خواسته‌ها جواب یکتا نداشته باشد، و هدف آن سنجش خلاقیت یا توانایی حل مسئله‌ی شما باشد. می‌توانید از ساده‌ترین چیزهایی که به ذهنتان می‌رسد استفاده کنید یا برای یافتن راه مناسب جست و جو کنید. همچنین سوال‌هایی که با * مشخص شده‌اند صرفاً جنبه‌ی امتیازی دارند و بیشتر برای آموزش شما هستند.

شرافت انسانی ارزشی به مراتب والاتر از تعلقات دنیوی دارد. رونویسی تمارین، زیر پا گذاشتن شرافت خویشتن است؛

به کسانی که شرافتشان را زیر پا می‌گذارند هیچ نمره‌ای تعلق نمی‌گیرد.

قسمت اول: آشنایی با مقاله‌ی پژوهش اصلی (نمره: 5%)

در این تمرین، قرار است روی دیتاستی که برای پژوهشی در سال 2002 جمع‌آوری شده است کار کنید. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و آشنایی با نوروهای "پیچیده" در غشای ابتدایی بینایی (Primary Visual Cortex) مغز گربه است. پیر زیر را دانلود کنید، و تا حدی مطالعه‌ش کنید که بتوانید به سوالاتی که در ادامه مطرح می‌شود پاسخ دهید. (با اینکه قرار نیست تمام کارهایی که در این پیر انجام شده است را انجام دهید، اگر فرصت‌ش را دارید، پیشنهاد موکد می‌شود که با جزئیات بخوانیدش، و برای قسمت آخر، از ایده‌هایی با خواندنش پیدا می‌کنید استفاده کنید).

Touryan, Jon, Brian Lau, and Yang Dan. **"Isolation of relevant visual features from random stimuli for cortical complex cells."** Journal of Neuroscience 22.24 (2002): 10811-10818.

(دقت داشته باشید که هدف این قسمت تنها این نیست که شما یک مقاله را بخوانید و محتوای علمی‌ش را فراگیرید. هدف دیگر، و حتی بزرگ‌تر، این است که با خواندن مقاله نحوه‌ی فکر کردن محققان آن مقاله به مسئله، و نوع ارائه‌ی کارشان را یاد بگیرید).

۱. با مطالعه‌ی abstract و introduction، توضیح دهید که هدف این پژوهش چیست، و چه تفاوتی با کارهای قبلی‌ش دارد.

۲. نوروهای "پیچیده" چطور تعریف می‌شوند و با چه معیاری انتخاب شده‌اند؟

۳. از قسمت Materials and Methods، بخش Spike-triggered correlation analysis را مطالعه کنید. فرایند را به طور تقریبی توضیح دهید.

۴. همانطور که با خواندن بخش Spike-triggered correlation analysis مقاله باید متوجه شده باشید، برای بررسی اعتبار یافته‌های علمی‌مان، باید تحریک‌هایی که موجب اسپایک شده‌اند (توزیع تحریک به شرط اسپایک) را با تحریک‌های کلی و مستقل از اسپایک مقایسه کنیم. توضیح دهید که مقاله چه روشی را برای این کار پیشنهاد می‌دهد. در قسمت‌های بعدی قرار است به وفور از این روش استفاده کنیم.

۵. از قسمت Results، بخش Segregation between two types of visual features را مطالعه کنید. نتیجه را به طور تقریبی توضیح دهید.

قسمت دوم: آشنایی با دیتاست (نمره: 15%)

فایل‌های دیتاست اصلی، و راهنمای استفاده از آن (تقریباً تمام آنچه که توسط تیم اولیه‌ی این پژوهش منتشر شده است) در فایل CRCNS_ORG_PVC_2.rar ضمیمه‌ی این تمرین شده است، تا در صورت نیاز، یا برای کارهای خلاقانه از آن استفاده کنید. اما برای انجام این تمرین، لازم نیست که حتماً به دیتاست اصلی رجوع کنید؛ بخشی از دیتا و توابعی که برای این تمرین لازم است، به ترتیب در فولدرهای Data و MatlabFunctions قرار داده شده‌اند. در ادامه محتویات ضمیمه شده را توضیح می‌دهیم:

❖ تحریک:

همانطور که با خواندن پیپر متوجه شده‌اید، هر تحریک تصویری شامل 16 نوار سیاه یا سفید است؛ بدین ترتیب برای مشخص کردن هر تحریک 16 عدد کافی است. فایل msq1D.mat در آدرس Data\Stimulus_Files\ حاوی ماتریسی با ابعاد 32767*16 است که دنباله‌ی تحریک‌ها را توصیف می‌کند.

3

❖ پاسخ:

همانطور که در متن پیپر مشاهده کرده‌اید، این آزمایش روی چندین نورون انجام شده است، پاسخ مربوط به هر نورون در فولدری جداگانه و در آدرس Data\Spike_and_Log_Files قرار داده شده است. اسم هر فولدر، کد نورون متناظر را مشخص می‌کند. همچنین لازم به ذکر است که تحریک، برای هر نورون در بهترین راستا (راستایی که نورون بیشترین تحریک‌پذیری را دارد) نمایش داده می‌شود. نام فایل‌های موجود در هر فولدر به صورت زیر می‌باشد:

[Format].[Type of Stimuli][Alphabet Index][Neuron Code]

Alphabet Index نمایانگر این است که فایل مورد نظر متناظر با چندمین آزمایش برای این نورون مشخص است. Type of Stimuli نوع تحریک را مشخص می‌کند که حالت‌های مختلفی دارد، ولی در این تمرین، ما تنها با دو حالت‌ش کار داریم:

Type of Stimuli	آزمایش
msq1D	آزمایشی است که دنبال تحریک msq1D برای گربه پخش شده است.
tune	آزمایشی است که در هدف آن پیدا کردن بهترین راستا (راستایی که نورون بیشترین تحریک‌پذیری را دارد) برای هر نورون بوده است.

و در نهایت Format هر فایل یکی از دو حالت log یا sa0 است. فایل‌های log شامل مشخصات تحریک، و فایل‌های sa0 شامل پاسخ نورون در طول آزمایش است. فایل log با notepad ویندوز قابل بازشدن است و خواندن و بررسی‌ش کاری ندارد، خواندن فایل‌های sa0 را نیز در ادامه توضیح می‌دهیم. با خواندن هر فایل sa0، برداری با عنوان events در متلب لود می‌شود که شامل زمان اسپایک‌ها به واحد 0.1ms است.

❖ توابع:

تابع fget_spk.m موجود در آدرس MatlabFunctions\fileload برای خواندن فایل‌های sa0 استفاده می‌شود. تابع tview.m نیز در آدرس MatlabFunctions\tview برای نمایش خروجی آزمایش tuning (فایل‌های tune) استفاده می‌شود. کار با هر دوی این توابع بسیار ساده است و توضیحات موجود در کدها کافی است.

برای این قسمت، کافی است تعدادی از توابع مقدماتی را بنویسید، و همچنین نسبت به دیتاست شناخت پیدا کنید:

۱. بررسی کنید که در هدر فایل های `sa0` و در فایل های `log` چه اطلاعاتی وجود دارد.

۲. یکی از کارهایی که قرار است در این تمرین یاد بگیرید، کار کردن با دیتاست های شلوغ حوزه ی نوروساینس است! برای این منظور باید ساختارمند کد بنویسید، و در غیر این صورت مجبور می شوید بعضی کارها را چندین باره انجام دهید. تابعی با عنوان `Func_ReadData` بنویسید که در ورودی کد نورون مورد نظر را به صورت `string` دریافت کند، و در خروجی یک `struct` تحویل دهد که شامل زمان اسپایک ها و هدر تمام فایل های `sa0` متناظر با `msq1D` آن نورون خاص – در پایین ساختار خروجی توضیح داده شده است.

- ساختار خروجی:

Output Struct	محتوا
Output(i).events	برداری شامل زمان اسپایک های متناظر با آزمایش ام
Output(i).hdr	هدر فایل <code>sa0</code> متناظر

- راهنمایی: شاید توابع `dir` و `findstr` به دردتان بخورد.
- فایل هایی که با `sub` یا `vecs` تمام می شوند را استفاده نکنید.
- همچنین توجه داشته باشید که ممکن است برای بعضی از نورون ها، بعضی فایل ها در اسم شان به جای `msq1D` از `msq1d` استفاده شده باشد.
- اگر صورت این قسمت واضح نیست، سوال کنید، چون صحت جواب های تان در قسمت های بعدی وابسته به این قسمت است.

۳. متوسط کل `spike-count rate` را برای هر نورون حساب کنید، و هیستوگرامش را رسم کنید. برای دقت بیشتر، از نورون هایی که `spike-count rate` کوچکتر از 2 دارند برای پردازش های بعدی صرف نظر می کنیم. کد این نورون ها را گزارش کنید.

۴. تابعی با عنوان `Func_StimuliExtraction` بنویسید. که در ورودی بردار `events` را به عنوان دنباله ی زمان اسپایک ها، و ماتریس `msq1D` را به عنوان دنباله ی تحریک ها بگیرد، و در خروجی، ماتریسی با ابعاد $16 \times 16 \times N$ بدهد که شامل تحریک هایی است که موجب برانگیخته شدن اسپایک شده اند – توجه داشته باشید که `N` تعداد اسپایک هایی است که با توجه به تعریف مقاله، می توان برای شان یک تحریک 16×16 یافت. (در صورت وجود ابهام، قسمت `Spike-triggered correlation analysis` را در مقاله دوباره مطالعه کنید).

۵. نحوه ی استفاده از `tview.m` را مطالعه کنید. برای چند نورون دلخواه خروجی ش را رسم و گزارش کنید. توضیح دهید که فرایند پیدا کردن بهترین راستا چگونه صورت گرفته است. (این سوال صرفا برای این است که نتیجه ی این فرایند جالب را ببینید!)

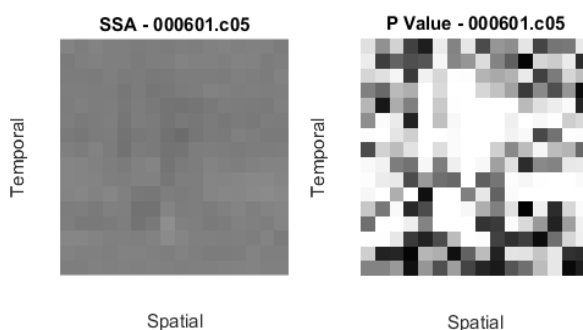
قسمت سوم: بررسی با روش کلاسیک Spike-Triggered Average (نمره: 25%)

- ❖ با توجه به این که در بعضی از قسمت ها باید تعدادی عملیات را برای تعداد زیادی از نورون ها انجام بدهید، پیشنهاد می شود که ابتدا این عملیات را روی یک یا دو نورون پیاده سازی کنید تا شهود لازم را به دست بیاورید و همچنین از صحت کدتان مطمئن شوید، سپس این عملیات را به کل نورون هایی که در سوال ۳ قسمت دوم برگزیدید بسط دهید.
- ❖ توجه داشته باشید که فرکانس پخش تصاویر 59.721395Hz می باشد. همچنین برای تمام قسمت ها فرض کنید که اولین در تصویر در زمان 0 پخش شده است.

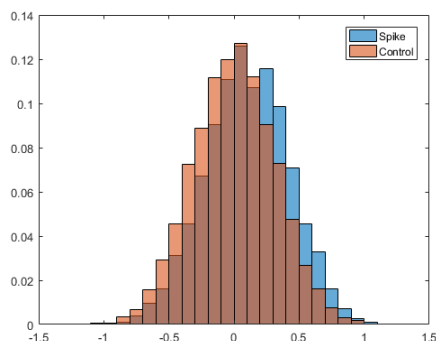
در این قسمت می خواهیم روش کلاسیک بررسی عملکرد نورون ها را به طور مختصر بررسی کنیم، و complex بودن آن ها را تحقیق کنیم. برای این منظور، یک نورون دلخواه در نظر بگیرید و نامش را در گزارش ذکر کنید.

۱. برای نورون مورد نظرتان، با استفاده از روش Spike-Triggered Averaging، شکل تخمینی برای Receptive Field را به دست آورید، و با استفاده از imshow، این تصویر را رسم کنید. (توجه کنید، یک تصویر 16*16 پیکسل خواهید داشت. روی شکل باید محور زمان و مکان را مشخص کنید. فرمت شکل های تان باید شبیه به شکل 2.B در پیپر باشد. - برای بهتر شدن نمایش، می توانید contrast تصویرتان را زیاد کنید، اما باید توجه داشته باشید که با این کار، شکلی که می بینید حساسیت بیشتری از receptive field دارد. - ممکن است به توابع cat و reshape نیاز پیدا کنید.)

۲. (*) برای تک تک درایه های ماتریس مورد نظر، از t-test استفاده کنید (برای تحقیق این امر که آیا واقعا مقدار این درایه با صفر تفاوت معنی داری دارد یا خیر). P-value های حاصل در ماتریسی 16*16 قرار می گیرد که تناظر یک به یک با ماتریس اصلی دارد؛ در کنار شکلی که برای سوال قبل کشیدید، تصویر 1-PValue را نیز نمایش دهید.
- راهنمایی: خروجی باید شبیه به شکل زیر شود:



۳. با حساب کردن میانگین تحریک‌هایی که منجر به اسپایک شده‌اند، انگار یک راستا در فضای $16 \times 16 = 256$ بعد یافته‌اید، که اگر نورون ساده‌ای داشتیم، می‌توانستیم ادعا کنیم که اگر تصویر تحریک‌مان بر این راستا (یا به عبارتی کوررلیشن تحریک‌مان با Spike-Triggered Average) از حدی بیشتر باشد، نورون با احتمال زیادی اسپایک می‌زند. توزیع تصویر تحریک‌ها روی این راستا را، برای تحریک‌های منجر به اسپایک شده، و همچنین تحریک‌های کلی (به روش پیپر)، با دستور histogram روی یک شکل رسم کنید. راهنمایی: خروجی باید شبیه به شکل زیر شود:



۴. (*) بین دو متغیری که در سوال ۳ به دست آوردید، یعنی تصویر تحریکات منجر شده به اسپایک و کلیه‌ی تحریکات، از t-test استفاده کنید و نتیجه را گزارش کنید. توضیح‌تان را برای مشاهدات‌تان بنویسید.

۵. فرض کنید می‌خواستید ناحیه‌ی On و Off برای این نورون قائل شویم. یعنی اینکه حد آستانه‌ای انتخاب کنیم، که اگر تصویر تحریک روی Spike-Triggered Average از این حد آستانه بیشتر بود، این تحریک را به عنوان تحریک منجر به اسپایک، و اگر کمتر بود، به عنوان یک تحریک معمولی ببینیم. با فرض گاوسی بودن توزیع‌ها، این حد را چگونه انتخاب می‌کردید؟ این حد، چند درصد از تحریک‌ها را درست دسته‌بندی می‌کرد؟ (از داده‌های سوال ۳ استفاده کنید.)

۶. جدولی بکشید، و در آن، برای تمام نورون‌ها، خروجی سوالات ۱ تا ۵ را گزارش کنید. (طبیعی است که اگر بخش‌های امتیازی را حل نکرده‌اید، برای این قسمت نیز لازم نیست حل کنید!)

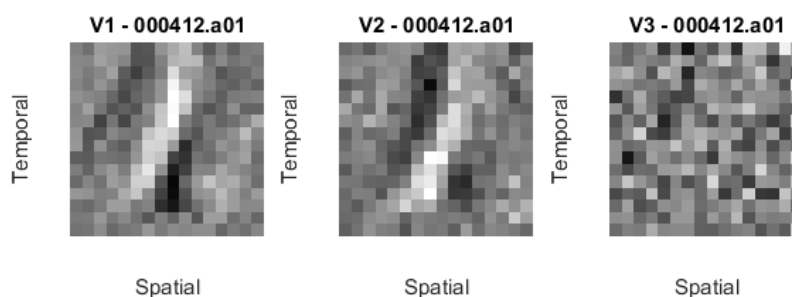
۷. آیا در Spike-Triggered Average پترن‌های معناداری می‌بینید؟ در مورد ادعای پیپر مبتنی بر simple نبودن نورون‌های در دست بررسی اظهار نظر کنید و استدلال کنید.

قسمت چهارم: بررسی با روش Spike-Triggered Correlation (نمره: 30%)

در این قسمت، می‌خواهیم با تقریب خوبی کارهای پیپر را تکرار کنیم، و به همین خاطر، در نظر داشته باشید، که تقریباً باید جواب‌های‌تان شبیه به جواب‌های پیپر شود. همان نورونی که در قسمت سوم انتخاب کردید را انتخاب کنید.

۱. مطابق با روش پیپر، ماتریس **Spike-Triggered Correlation** را حساب کنید و با استفاده از تابع **eig** مقادیر و بردارهای ویژه آن را به دست آورید. سه بردار ویژه متناظر با بزرگترین مقادیر ویژه این ماتریس را رسم کنید - مانند سوال یک قسمت سوم. (برای بهتر شدن نمایش، می‌توانید **contrast** تصویرتان را زیاد کنید، اما باید توجه داشته باشید که با این کار، شکلی که می‌بینید حساسیت بیشتری از **receptive field** دارد).

راهنمایی: خروجی باید شبیه به شکل زیر شود:

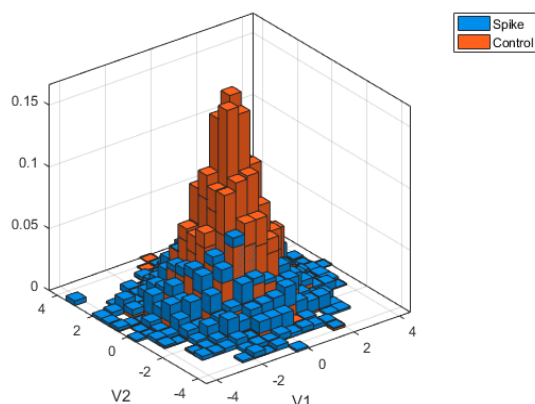


۲. مشابه با روش مذکور در مقاله، بازه‌ی اطمینان را برای مقدار ویژه‌های ماتریس **Spike-Triggered Correlation** روی تحریک‌های کلی حساب کنید. شکلی شبیه به شکل 2.A. مقاله تولید کنید، که مقادیر ویژه‌ی ماتریس **Spike-Triggered Correlation** را در کنار بازه‌ی اطمینانش نمایش می‌دهد. چه تعداد بردار ویژه‌ی "معنی‌دار" وجود دارد؟ (برای اطمینان بیشتر، بازه‌ی اطمینان را $\text{mean} \pm 10.4SD$ بگیرید).

۳. آنچه که در سوال ۱ و ۲ به دست آوردید را توضیح دهید.

۴. همانند کاری که در سوال ۳ قسمت سوم انجام دادید، هیستوگرام متناظر را برای تصویر تحریک‌ها روی بردار ویژه‌ی اول، و همچنین بردار ویژه‌ی دوم رسم کنید. همچنین توزیع مشترک این دو پارامتر (تصویر تحریک‌ها روی بردار ویژه‌ها) را نیز، هم برای تحریک‌های منجر شده به اسپایک و هم برای کلیه‌ی تحریک‌ها، با استفاده از تابع **histogram2** رسم کنید. در مورد آنچه که مشاهده می‌کنید توضیح دهید، و همچنین تفاوت‌های نتیجه‌ی این تحلیل، با تحلیل **Spike-Triggered Average** مقایسه کنید.

راهنمایی: خروجی باید شبیه به شکل زیر شود:



۵. در این سوال، می‌خواهیم عملیاتی شبیه به عملیات سوال ۵ قسمت سوم را تکرار کنیم. اما به جای اینکه تصویر هر تحریک روی راستای Spike-Triggered Average را به عنوان معیار در نظر بگیریم، تصویر تحریک را روی تمام بردارویژه‌های "معنی‌دار" حساب کرده، و این فضای چند متغیره را به عنوان معیار می‌گیریم. با فرض مشترکا گاوسی بودن این متغیرها، توضیح دهید که چطور تحریک‌های منجر به اسپایک و تحریک‌های کلی را از هم جدا می‌کنید. چند درصد از تحریک‌ها را درست تشخیص می‌دهید؟

۶. جدولی بکشید، و در آن، برای تمام نوروها، خروجی سوالات ۱ تا ۵ را گزارش کنید.

۷. آیا در بردارویژه‌ها پترن معنادار می‌بینید؟ نتایج را با روش کلاسیک مقایسه کنید.

قسمت پنجم: یک سوال دلخواه! (نمره: 25%)

برای این قسمت، با استفاده پیپر، یا مطالب سر کلاس، یا هر ایده‌ی خلاقانه‌ای که به ذهن‌تان می‌رسد، یک سوال طرح کنید، و سعی کنید با روش‌های مناسب به این سوال پاسخ دهید. سوال و روش‌های‌تان لازم نیست الزاما پیچیده باشد، کافی است که ساختاریافته، و جالب باشد.