



تمرین عملی سری اول

دانشکده مهندسی برق

علوم اعصاب یادگیری، حافظه، شناخت

استاد درس: دکتر کربلایی آقاجان

نیمسال اول سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴

آخرین مهلت تحویل: ۱۷ آبان ۱۴۰۳

نکات و ضوابط مرتبط با تمرینات

- تأکید می‌شود که کیفیت گزارش تمرینات، به اندازه خروجی نهایی تمرین‌ها اهمیت داشته و درصد مهمی از بارم تمارین را شامل می‌شود. بنابراین لازم است که استدلال‌ها و دلیل استفاده از دستورات و نتایج را به صورت دقیق در گزارش خود شرح دهید.
- هر فرد یا گروه تمرین خود را در قالب فایل ZIP یا RAR شامل فایل PDF گزارش و تمامی کدهای مربوطه را در بخش تعیین شده در سامانه درس ارسال کند.
- در صورتی که تمرینات عملی را به صورت گروهی انجام می‌دهید، نام همگروهی خود را حتماً در گزارش تمرین ذکر کنید. علاوه بر این، هر دو عضو گروه باید تمرین را به صورت جداگانه در سامانه ارسال کنند. عدم رعایت این نکته منجر به از دست دادن نمره تمرین برای هر دو عضو گروه می‌شود.
- در صورت استفاده از منابع خارجی یا همفکری با دیگران، حتماً اسامی همفکران و لیست منابع و لینک‌ها را در گزارش خود ذکر کنید. عدم رعایت این امر ممکن است منجر به کسر نمره شود. همچنین استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در تمرینات عملی بلامانع است.
- هر فرد یا گروه برای مجموعه تمرین‌های عملی تا سقف ۱۰ روز تأخیر بدون کسر نمره مجاز است. در صورت اتمام این مهلت مجاز، برای هر روز تأخیر در تحویل تمرین‌ها ۳۰ درصد از نمره آن تمرین کسر خواهد شد.
- با توجه به حجم تمرینات، توصیه می‌شود که انجام آن‌ها را به روزهای آخر موکول نکنید.
- در صورت وجود هرگونه ابهام یا سوال از تمرینات، از طریق گروه درس یا [ایمیل](#) با دستیاران آموزشی درس مطرح کنید.

مقدمه

سیگنال های مغزی شامل فعالیت های نورون های مغز می شوند و اطلاعات حیاتی درباره عملکرد مغز و وضعیت آن را فراهم می کنند. نحوه ثبت این سیگنال ها متفاوت است اما به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

1. **ثبت غیرتهاجمی¹**: این روش ها نیازی به جراحی ندارند و اغلب بر روی سطح پوست یا نزدیک به سطح مغز انجام می شوند. یکی از رایج ترین و شناخته شده ترین روش های غیرتهاجمی، **الکتروانسفالوگرافی² (EEG)** است که سیگنال های الکتریکی مغز را با قرار دادن الکترودهایی بر روی پوست سر ثبت می کند. EEG کاربردهای زیادی در مطالعه خواب، تشخیص بیماری های عصبی مانند صرع و واسطه های مغز و کامپیوتر (BCI) دارد. از دیگر روش های غیرتهاجمی می توان به **مگنتوآنسفالوگرافی³ (MEG)** اشاره کرد که میدان های مغناطیسی ناشی از فعالیت عصبی مغز را اندازه گیری می کند.
2. **ثبت تهاجمی⁴**: در این روش سیگنال های الکتریکی مغز از طریق کاشت یا جراحی الکترود ها در داخل بخش های مورد نظر سر انجام می شوند که فعالیت دقیق تری از نورون های آن بخش را ثبت می کنند و در پژوهش های مختلف اغلب روی حیوانات نظیر موش انجام می شوند. از جمله این روش ها **پتانسیل های محلی⁵ (LFP)** است که فعالیت های بخش خاصی از مغز را ثبت کرده و به لحاظ مکانی نسبت به روش های غیرتهاجمی دقیق تر هستند.

در این سری از تمرینات درس علوم اعصاب به پیش پردازش و تحلیل اولیه سیگنال های EEG ثبت شده از مغز افراد مبتلا به افسردگی می پردازیم. افسردگی یک اختلال روانی شایع و مهم در دنیای امروز است که بر احساسات، افکار و رفتار فرد تأثیر می گذارد. علائم بالینی افسردگی شامل احساس غم و ناامیدی، بی علاقه ای به انجام فعالیت، کاهش تمرکز و قدرت تصمیم گیری و... می شوند. به دلیل ماهیت پیچیده این بیماری نمی توان مدلی دقیق را برای توصیف اتفاقاتی که در مغز این افراد می افتد، ارائه داد. اما ممکن است بتوانیم با توجه به مهمترین و شایع ترین علائم افسردگی مانند اختلال در تصمیم گیری و یادگیری، عملکرد مغز این افراد را در مواجهه با انجام تسک یادگیری تحلیل کرد. تسک یادگیری تقویتی⁶ (RL) به فرآیندی اشاره دارد که در آن یک موجود زنده با محیط خود تعامل می کند و با دریافت پاداش یا مجازات، یاد می گیرد تا رفتارهای خاصی را تکرار کند یا از آنها اجتناب کند. بنابراین می توان با تحلیل سیگنال های مغزی افراد مبتلا به افسردگی در این تسک و استخراج ویژگی های مختلف به توصیف دقیق تری از نحوه عملکرد مغز این افراد دست یافت.

معرفی دیتاست و نحوه اجرای تسک

دیتاستی که در اختیار شما قرار می گیرد شامل سیگنال EEG افراد سالم و افراد مبتلا به افسردگی، حین انجام تسک یادگیری تقویتی است. برای اطلاعات بیشتر در مورد نحوه اجرای تسک و جزئیات مربوط به آن ویدیو CHW1_IntroToDataset.mp4 که بخش تمرین

¹ non-invasive

² Electroencephalography

³ Magnetoencephalography

⁴ invasive

⁵ Local Field Potentials

⁶ Reinforcement Learning

اول سامانه درس در اختیار شما قرار گرفته مشاهده کنید. در ادامه، برای آشنایی با ساختار دیتاست ویدیو CHW1_SampledDataset.mp4 در بخش تمرین اول سامانه درس را مشاهده کنید.

پیش پردازش دیتاست

سیگنال های EEG پس از ثبت از افراد دارای نویز ها و آرتیفکت های خاصی بوده که لازم است پیش از اعمال روش های مختلف تحلیل این نوع سیگنال ها، پیش پردازش شده و سطح نویزهای مختلف روی دیتاست تا حد قابل قبولی کاهش یابد. برای آشنایی با نحوه پیش پردازش سیگنال های EEG ویدیو CHW1_Preprocessing.mp4 را مشاهده کنید. پس از مشاهده ویدیو، با توجه به **جدولی** که پیش تر در سامانه درس در اختیار شما قرار گرفته بود، شماره سابلکت های گروه کنترل و افسرده متناظر با سطر خود در ستون سوم و چهارم جدول را از این **مخزن** دانلود کند. به عنوان مثال با توجه به شکل زیر، افراد این گروه، سابلکت های شماره ۵۵۸، ۵۶۴، ۵۶۶، ۵۶۹ و ۵۷۱ از افراد افسرده و سابلکت های شماره ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۶، ۵۲۷ و ۵۲۹ از افراد سالم (گروه کنترل) را دانلود می کنند:

Membr 1	Membr 2	Assigned Depressed Subjects	Assigned Control Subjects
Sample 1	Sample 2	588-564-566-569-571	512-513-516-527-529

جدول ۱

پس از دانلود دیتای سابلکت های مشخص شده از سابلکت های دو گروه طبق توضیحات ویدیوی CHW1_Preprocessing.mp4 داده ها را در تولباکس^۱ EEGLAB در نرم افزار متلب پیش پردازش کنید. در پیش پردازش داده ها **حتما** نکات زیر را رعایت کنید:

- مراحل پیش پردازش یکی از سابلکت ها را در گزارش خود با **جزئیات کامل** شرح دهید و دلیل حذف یا عدم حذف هریک کامپوننت های ICA^۲ را شرح دهید .
- پس از تکمیل پیش پردازش هر سابلکت، آن ها را مطابق جدول زیر ایپاک^۳ کنید :

Event Name	Start Time (seconds)	End Time (seconds)
Stimulus	-0.5	1
Reward (Positive Feedback)	-0.5	1
Punishment (Negative Feedback)	-0.5	1
Response (Action)	-1	0.5

جدول ۲

^۱ Toolbox

^۲ Independent Component Analysis

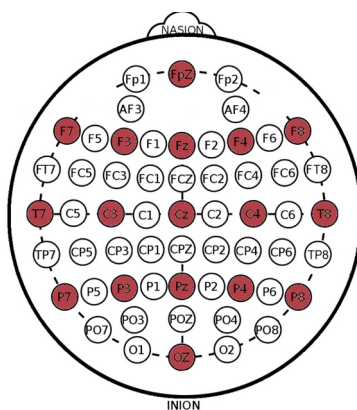
^۳ Epoch

توضیحات تکمیلی: زمان های مشخص شده جدول ۱ نسبی هستند. یعنی اگر شروع زمان هر ایپاک یا تراپال^۱ برابر با ۰.۵ - ثانیه و پایان آن ۱ ثانیه مشخص شده باشد یعنی هر تراپال شامل ۰.۵ ثانیه قبل از وقوع رخداد تا ۱ ثانیه پس از آن است. با توجه به اینکه هر نوع رخداد در طول تسک تکرار می شوند بنابراین ساختار داده شما در خروجی EEGLAB در هر رخداد، یک تانسور^۲ تراپال × زمان × کانال خواهد بود.

- پس از پیش پردازش و ایپاک کردن داده ها داده ها، داده ایپاک شده مرتبط با هر رخداد^۳ را در فایل های جداگانه با پسوند .mat یا .set ذخیره کنید .

پتانسیل وابسته به رخداد^۴ (ERP)

۱. ابتدا تحقیق کنید که پتانسیل وابسته به رخداد (ERP) در سیگنال های EEG به چه معناست؟ چگونه محاسبه می شوند؟ و چرا در سیگنال های EEG از ERP استفاده می شود؟
۲. در مورد P300 و FRN^۵ که از معروف ترین ویژگی های شناخته شده از سیگنال ERP هستند، تحقیق کنید. هر یک از این دو ویژگی چه رویدادی را در مغز توصیف می کنند؟
۳. داده های پیش پردازش شده را در پایتون لود کنید. برای این منظور می توانید از تولباکس MNE برای لود کردن داده های خروجی EEGLAB استفاده کنید.
۴. با توجه به شکل زیر فقط کانال های رنگ آمیزی شده را نگه دارید و بقیه کانال ها را حذف کنید:



شکل ۱

۵. به منظور مقایسه بهتر سیگنال های ERP، داده ها را با محاسبه zscore روی محور زمان در هر تراپال و در هر کانال، نرمالیزه کنید:

$$x_{zscore}(n) = \frac{x(n) - \text{mean}(x(n))}{\text{std}(x(n))}$$

^۱ Trial

^۲ Tensor

^۳ Event

^۴ Event Related Potentials

^۵ Feedback Related Negativity

6. ERP دیتای پیش پردازش شده را برای رخداد Stimulus در دو کانال Fz و Pz روی ۵ ترایال اول از داده‌های یک فرد سالم و یک فرد افسرده محاسبه و رسم کنید.

7. حال محاسبه و رسم ERP را روی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ترایال اول از داده‌های همان افراد برای همان کانال‌ها تکرار کنید و نتایج را با بخش قبل مقایسه کنید. توضیح دهید که افزایش تعداد ترایال چه تأثیری بر سیگنال‌های ERP دارد؟

8. برای رخدادهای Reward و Punishment برای هر ۱۰ سابجکت، سیگنال ERP کانال‌های Fz و Pz را محاسبه کنید.

9. سیگنال‌های ERP‌های محاسبه شده در بخش را به تفکیک کانال و رخداد برای همه سابجکت‌ها (همه افراد سالم و افسرده) رسم کنید. دقت کنید که ERP همه سابجکت‌ها باید در یک نمودار روی هم رسم شوند تا بتوان ویژگی مشترک آن‌ها را پیدا کرد. آیا تفاوتی بین ERP مربوط به رخدادهای Reward و Punishment وجود دارد؟ آیا تفاوتی بین میان دو کانال Fz و Pz در مواجهه با Reward یا Punishment وجود دارد؟ نتایج را تفسیر کنید.

10. حال سیگنال ERP را برای همه افراد سالم و افسرده به صورت جداگانه روی کانال Fz در رخدادهای Reward و Punishment محاسبه کرده و در ادامه سیگنال‌های ERP همه سابجکت‌های هر گروه را روی هم میانگین بگیرید. به سیگنال حاصل میانگین بزرگ یا Grand Average گفته می‌شود. برای نمایش تغییرات Grand Average سابجکت‌ها، علاوه بر میانگین، خطای استاندارد^۱ را روی ERP همه سابجکت‌های هر گروه محاسبه کنید. درنهایت سیگنال Grand Average را برای هر یک رخدادها و کانال مذکور، به همراه بازه اطمینان^۲ از روی خطای استاندارد، برای سابجکتهای سالم و افسرده رسم کنید. آیا تفاوتی بین افراد سالم و افسرده در مواجهه با Reward وجود دارد؟ در مورد Punishment چگونه؟ نتایج را تفسیر کنید.

راهنمایی: خطای استاندارد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SE = \frac{std(x)}{\sqrt{n}}$$

که در آن n تعداد افراد است.

ویژگی‌های زمان - فرکانسی

تمام مواردی که تاکنون محاسبه و نتایج آن را مشاهده کرده‌اید، بدون تفکیک فرکانسی انجام شده است. یک تحلیل ساده اما مهم دیگر که در بررسی سیگنال‌های EEG حائز اهمیت است، فعالیت باندهای فرکانسی مختلف است. به طور کلاسیک و بر اساس مشاهداتی که تاکنون انجام شده، فعالیت‌های مغزی که از روی پوست سر قابل رهگیری است به ۵ باند فرکانسی تقسیم می‌شود و به هر کدام ویژگی‌های رفتاری تخصیص داده می‌شود. در سیگنال‌های EEG باندهای فرکانسی مهم عبارت‌اند از: دلتا^۳، تتا^۴، آلفا^۵، بتا^۶ و گاما^۷. بازه فرکانسی هریک از این باندها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

^۱ Standard Error

^۲ Confidence Interval

^۳ Delta

^۴ Theta

^۵ Alpha

^۶ Beta

^۷ Gamma

Band Name	Frequency Range
Delta	0.5 – 4 Hz
Theta	4 – 8 Hz
Alpha	8 – 12 Hz
Beta	12 – 30 Hz
Gamma	30 – 80 Hz

جدول ۳

تحقیق کنید که هریک از این باندهای فرکانسی، به طور کلی مربوط به چه دسته از فعالیت های مغزی هستند؟

همانطور که می دانید، تبدیل فوری به عنوان یکی از مهمترین روش های تجزیه فرکانسی سری های زمانی هستند. با محاسبه مجذور اندازه تبدیل فوری، می توان طیف توان سیگنال های مغزی را بدست آورده و ویژگی های فرکانسی آن را استخراج کرد. اما از آنجا که سیگنال های مغزی غیرایستاد^۱ بوده و ویژگی های فرکانسی آن در طول زمان تغییر می کنند، تبدیل فوری این تغییرات زمانی را در نظر نمی گیرد. برای حل این مشکل از روش تبدیل فوری زمان کوتاه^۲ (STFT) برای محاسبه تغییرات زمانی طیف توان سیگنال استفاده کرد. در این روش، به کمک تکنیک پنجره های لغزان^۳ در هر بازه زمانی کوتاه (مثلاً ۵۰۰ میلی ثانیه) طیف توان سیگنال محاسبه شده و این پنجره را با همپوشانی^۴ با پنجره های قبل از خود حرکت می دهیم. در نتیجه یک نمایش زمان – فرکانس از سیگنال مغزی خواهیم داشت. برای آشنایی بیشتر با STFT می توانید [این ویدیو](#) را مشاهده کنید.

در این بخش از تمرین می خواهیم تغییرات توان هر باند فرکانسی در زمان را در رخدادهای Reward و Punishment بررسی کنیم. ابتدا همانند کاری که در قسمت ۵ از بخش قبل انجام دادید، داده ها را در محور زمان در هر تریال zscore کنید. حال در کانال Fz در تمامی سابجکت های سالم و افسرده به صورت جداگانه، ۱۵ تریال از هر سابجکت را به صورت رندم انتخاب کرده و در هر تریال از هر رخداد STFT سیگنال را محاسبه کنید. بنابراین برای هر گروه (سالم و افسرده) و هر رخداد (Reward و Punishment) یک تانسور^۴ بعدی به صورت زیر خواهیم داشت:

$$(\text{number of subjects}) \times (\text{number of trials}) \times (\text{frequency points}) \times (\text{time points})$$

سپس روی محور فرکانس در بازه هریک از باندهای فرکانسی (دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما) میانگین بگیرید تا تغییرات باندهای فرکانسی در زمان بدست آید. بنابراین تعداد نقاط فرکانسی در تانسور ۴ بعدی بدست آمده برابر با عدد ۵ خواهد شد که نشان دهنده تغییرات زمانی در هریک از باندهای ۵ گانه است. در ادامه روی محور تریال ها در هر سابجکت میانگین بگیرید تا به تانسور ۳ بعدی زیر برسیم:

$$(\text{number of subjects}) \times 5 \times (\text{time points})$$

^۱ non-stationary

^۲ Short Time Fourier Transform

^۳ Sliding Window

^۴ Overlap

سپس در هر باند فرکانسی، میانگین و خطای استاندارد توان را روی همه سابلکت های سالم و افسرده محاسبه کنید. در انتها تغییرات توان هریک از باندهای فرکانسی (دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما) به همراه بازه اطمینان را در رخدادهای مختلف (Reward و Punishment) برای افراد سالم و افسرده رسم کنید. برای مقایسه بهتر، نتایج دو گروه را در یک نمودار نمایش دهید.

- در کدام باند فرکانسی تفاوت بین دو گروه سالم و افسرده در مواجهه با Reward بیشتر است؟
- در کدام باند فرکانسی تفاوت بین دو گروه سالم و افسرده در مواجهه با Punishment بیشتر است؟