

۱. سیگنال EEG ثبت شده از ۸ الکتروود را در ماتریس X ذخیره کرده‌ایم:

$$x_i[n], \quad n = 1 \dots 1000, \quad i = 1 \dots 8$$

نحوه محاسبه ویژگی‌های زیر را از روی نمونه‌های سیگنال ثبت شده به صورت صریح و دقیق بنویسید:

الف) میانگین هر کانال

ب) واریانس هر کانال

پ) همبستگی بین دو کانال

ت) ممان مرتبه ۳ هر کانال

ث) کومولان مرتبه ۴ هر کانال

ج) تعداد نقاط عبور از صفر هر کانال

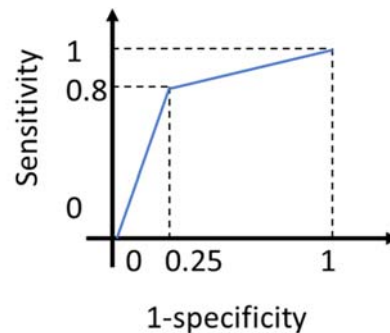
چ) انرژی نرمالیزه در باندهای دلتا، تتا، آلفا و بتا برای هر کانال

ح) فرکانس میانگین هر کانال

خ) فرکانس میانه هر کانال

۲. یک سیستم رابط مغز و کامپیوتر (BCI) برای طبقه بندی چهار تکلیف ذهنی مختلف با استفاده از سیگنال‌های EEG طراحی شده است. این سیستم از ترکیبی از ویژگی‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس برای طبقه بندی استفاده می‌کند. سیگنال‌های EEG با نرخ نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز ثبت شده‌اند. ویژگی‌های حوزه زمانی با محاسبه انحراف معیار و skewness سیگنال EEG در پنجره‌های ۱ ثانیه‌ای غیرهمپوشان استخراج می‌شوند. ویژگی‌های حوزه فرکانسی با انجام FFT روی پنجره‌های ۲ ثانیه‌ای با همپوشانی ۵۰ درصدی محاسبه می‌شوند. لازم به توضیح است که FFT به ۱۰۰ bin در هر پنجره منجر می‌شود. اگر یک شرکت کننده هر تریال از یک تکلیف ذهنی را به مدت ۳۰ ثانیه انجام دهد، تعداد کل ویژگی‌هایی را که برای یک تریال استخراج می‌شود، محاسبه کنید.

۳. در یک مسئله طبقه‌بندی دو کلاسه سیگنال‌های مغزی به دو کلاس بیمار (Positive) و سالم (Negative)، تقریبی از منحنی ROC به صورت زیر به دست آمده است. تعداد افراد در دو کلاس بیمار و سالم به ترتیب ۱۰۰ و ۱۲۰ نفر هستند. اگر تعداد افراد در کلاس سالم ۵ برابر شود، منحنی ROC چه تغییری خواهد کرد؟ (توجه: محدوده تغییرات منحنی ROC را رسم کنید). AUC_{min} و AUC_{max} را محاسبه کنید.



۴. در سناریوی زیر، چه روشی را برای بررسی سیگنال حاصل پیشنهاد می‌دهید؟ توضیحات کافی، شامل هر نوع اطلاعات در مورد نمونه‌های زمانی، فرکانسی، کانال و ... ارائه دهید و نحوه محاسبه مقدار ویژگی را به صورت فرمولی بنویسید.

برای طراحی یک سیستم BCI مبتنی بر SSVEP برای ارتباط و کنترل برای افراد مبتلا به سندرم قفل شده یا اختلالات حرکتی شدید، مهم است که فرکانس‌های سوسو زدن را برای تحریک بصری انتخاب کنید که احتمالاً پاسخ‌های SSVEP قوی و قابل تشخیص را ایجاد می‌کند. فرکانس‌های رایج برای BCI‌های مبتنی بر SSVEP در محدوده ۵ تا ۳۰ هرتز قرار می‌گیرند. در یک آزمایش برای هر محرک یک فرکانس سوسو زدن مشخص اختصاص داده‌ایم. به عنوان مثال، سه محرک در فرکانس‌های ۶ هرتز (باند پایین)، ۱۲ هرتز (باند میانی) و ۲۰ هرتز (باند بالا) با استفاده از نمایشگر در مقابل بیمار سوسو می‌زنند. سیگنال‌های مغزی کاربر از سطح سر با استفاده از الکترودهای قرار گرفته در یک سیستم استاندارد ۱۰-۲۰ ثبت می‌شوند. هدف تعیین فرکانس تحریک مورد نظر با استفاده از سیگنال‌های مغزی ثبت شده است.

۵. برای سناریوی زیر یک پروتکل برای ثبت سیگنال EEG ارائه دهید. توضیحات کافی، شامل هر نوع اطلاعات در مورد نحوه انجام آزمایش، نحوه ثبت سیگنال، ویژگی‌های مورد استفاده و نحوه طبقه‌بندی ارائه دهید. در مورد ویژگی‌های مورد استفاده، جزییات لازم را در مورد نمونه‌های زمانی، فرکانسی، کانال و ... بنویسید و نحوه محاسبه مقدار ویژگی‌ها را هم به صورت فرمولی بنویسید.

می‌خواهیم برای یک کاربر با بیماری اسکروز جانبی آمیوتروفیک (ALS) یک سیستم BCI با ۱۲ فرمان مجزا طراحی کنیم. این بیمار علاوه بر از دست دادن قدرت حرکت عضلات خود، قابلیت خیره شدن به یک نقطه را نیز ندارد، اما حواس بینایی و شنوایی آن کاملاً سالم است. می‌خواهیم یک سیستم BCI ترکیبی طراحی کنیم که gaze dependent نباشد (یعنی نیاز به خیره شدن فرد به مکان‌های زیادی در صفحه مانیتور نباشد).

توجه: در این طراحی استفاده از انواع تحریک‌های بینایی و شنوایی با الگوهای ERP, Steady State Evoked Potential و ERD/ERS مجاز است.

۶. مجموعه داده‌ای حاوی سوابق پزشکی بیماران مبتلا به یک بیماری نادر به شما داده می‌شود و وظیفه شما ایجاد یک مدل طبقه‌بندی برای تشخیص اینکه آیا بیمار به این بیماری مبتلا است یا خیر، می‌باشد. مجموعه داده بسیار نامتعادل است و تنها ۲ درصد از نمونه‌ها به کلاس مثبت (بیماران مبتلا به این بیماری) تعلق دارند. فرض کنید تعداد کل افراد حاضر در آزمایش ۹۶۰۰ نفر باشد و یک مدل طبقه‌بندی را با استفاده از یک الگوریتم پیشرفته آموزش داده‌اید. اگر تعداد افراد بیمار که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و تعداد افراد سالمی که به اشتباه بیمار تشخیص داده شده‌اند به ترتیب، ۱۷۸ و ۱۱۰ نفر باشد پارامترهای ارزیابی طبقه‌بندی Accuracy, Precision, Sensitivity, Specificity, F1-Score و Balanced Accuracy را محاسبه کنید.

۷. در یک مسئله‌ی طبقه‌بندی، داده‌های دو کلاس به صورت زیر به‌عنوان داده آموزشی در نظر گرفته شده‌اند (مولفه آخر هر داده، شماره کلاس آن است).

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (0.35, 0.65, 0.4, 0), & \beta_2 &= (0.4, 0.15, 0.7, 0), & \beta_3 &= (0.5, 0.5, 0.5, 0), & \beta_4 &= (0.2, 0.5, 0.8, 0), \\ \beta_5 &= (0.75, 0.35, 0.3, 0), & \beta_6 &= (1, 0.4, 1.8, 1), & \beta_7 &= (0.1, 0.8, 0.4, 1), & \beta_8 &= (0.65, 0.90, 1.6, 1), \\ \beta_9 &= (0.85, 0.7, 1.35, 1), & \beta_{10} &= (0.9, 0.3, 1.2, 1)\end{aligned}$$

الف) این داده‌ها را در فضای سه بعدی به همراه برجسبشان رسم کنید. آیا داده‌های دو کلاس جدایی پذیرند؟

ب) با استفاده از روش PCA ابعاد داده‌ها را به دو بعد تقلیل داده و نتیجه را در فضای دوبعدی رسم کنید. آیا این دو کلاس جدایی پذیرند؟

پ) با استفاده از روش FLD ابعاد داده‌ها را به یک بعد تقلیل داده و نتیجه را رسم کنید. آیا دو کلاس جدایی پذیرند؟

۸. از داده‌های دو کلاس، ۳ ویژگی (f_1, f_2, f_3) را استخراج کرده‌ایم به گونه‌ای که داده‌های کلاس اول به صورت یکنواخت در فضای سه‌بعدی به صورت یک کره به مرکز (x_1, y_1, z_1) و شعاع ۱ قرار گرفته‌اند و داده‌های کلاس دوم به صورت یکنواخت در یک کره به مرکز (x_2, y_2, z_2) و شعاع ۱ قرار گرفته‌اند. تعداد داده‌های دو کلاس برابر بوده و محدوده همه ویژگی‌ها ۰ تا ۱۰ است. اگر بخواهیم با روش گزینشی (فیلتری) و با معیار ماتریس‌های پخش‌ی تک‌بعدی (فیشر) ابعاد ویژگی‌ها را کاهش دهیم، به ترتیب ویژگی‌های f_1, f_2 و f_3 انتخاب می‌شوند. اگر بخواهیم با استفاده از روش ترکیبی LDA بعد ویژگی را به یک کاهش دهیم، ویژگی استخراج‌شده را به صورت ترکیب خطی سه ویژگی f_1, f_2 و f_3 بنویسید.

توضیح: برای مرکز دو کره مقادیر عددی که فرض مسئله را برقرار می‌کند در نظر بگیرید. سپس ویژگی نهایی به دست‌آمده از LDA را با ضرایب مشخص عددی (نه پارامتری) به فرم $f = \alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3$ بنویسید.

۹. برای تعیین فیلتر مکانی بهینه در یک مسئله دو کلاسه با داده‌های $X_k^{(i)} \in \mathbb{R}^{10 \times 1000}$ $k = 1, 2$ شماره کلاس و i شماره آزمایش، ۱۰ و ۱۰۰۰ به ترتیب تعداد کانال‌ها و تعداد نمونه‌های زمانی) می‌خواهیم از روش استخراج ویژگی الگوی مکانی مشترک (CSP) استفاده کنیم. از هر کلاس ۵۰ داده در اختیار داریم. سیگنال‌های فیلتر شده را به صورت $Y_k^{(i)} \in \mathbb{R}^{2 \times 1000}$ نمایش می‌دهیم که ۲ تعداد فیلترها بوده و سطر اول $Y_k^{(i)}$ ‌ها متناظر با مقادیر زیاد واریانس برای کلاس ۱ و مقادیر کم واریانس برای کلاس ۲ بوده و برای سطر آخر این موضوع برعکس است. همچنین می‌خواهیم فیلترهای مکانی به گونه‌ای به دست آیند که سیگنال‌های ایجاد شده در هر دو سطر اول و دوم سیگنال‌های فیلترشده $Y_k^{(i)}$ ، تغییرات نرمی در طول زمان داشته باشند (مشتق زمانی کوچک).

الف) صورت اصلی مسئله CSP عادی را بنویسید، یعنی کسری را که بایستی مینیموم یا ماکزیمم شود بر حسب معلومات مسئله بنویسید.

ب) قید نرم بودن سیگنال فیلتر شده را به صورت یک مسئله بهینه‌سازی (مینیموم یا ماکزیمم کردن یک عبارت بر حسب معلومات مسئله) بنویسید.

ج) قید نرم بودن قسمت (ب) را به مسئله قسمت (الف) به گونه‌ای اضافه کنید که مسئله به صورت ماکزیمم کردن یک کسر تبدیل شود.

د) کسر قسمت (ج) را به گونه‌ای ساده کنید که مسئله با استفاده از حل مسئله GEVD حل شود. روش استخراج فیلترهای مکانی را در این حالت به صورت کامل توضیح دهید. توجه: با اضافه کردن قید قسمت (ب)، مسئله دیگر مانند CSP عادی متقارن نیست و برای تعیین دو فیلتر بایستی دو مسئله GEVD به صورت جداگانه حل شوند.

۱۰. برای تعیین فیلتر مکانی بهینه در یک مسئله چهار کلاسه (کلاس اول: تصور حرکت دست راست، کلاس دوم: تصور حرکت دست چپ، کلاس سوم: تصور حرکت پا، کلاس چهارم: تصور حرکت زبان) با داده‌های $X_k^{(i)} \in \mathbb{R}^{10 \times 1000}$ $k = 1, 2, 3, 4$ شماره کلاس و i شماره آزمایش، 10 و 1000 به ترتیب تعداد کانال‌ها و تعداد نمونه‌های زمانی) می‌خواهیم از روش استخراج ویژگی الگوی مکانی مشترک (CSP) استفاده کنیم. از هر کلاس ۵۰ داده در اختیار داریم. با توجه به توضیحات زیر، تمام مراحل استخراج ویژگی‌های CSP را از مجموعه داده‌گان $X_k^{(i)} \in \mathbb{R}^{10 \times 1000}$ $(k = 1, 2, 3, 4)$ با جزییات لازم بنویسید.

توجه: استخراج ویژگی CSP در مسئله طبقه‌بندی N -کلاسه به صورت تعیین فیلترهای مکانی متناظر با هر کلاس تعریف می‌شود به گونه‌ای که واریانس کلاس i -ام نسبت به میانگین واریانس‌های بقیه کلاس‌ها بیشینه شود. این کار برای هر کلاس i به صورت مستقل انجام شده و F فیلتر متناظر با کلاس i -ام استخراج خواهد شد. بدین ترتیب در مسئله N -کلاسه، NF فیلتر و به صورت متناظر NF ویژگی استخراج خواهد شد.