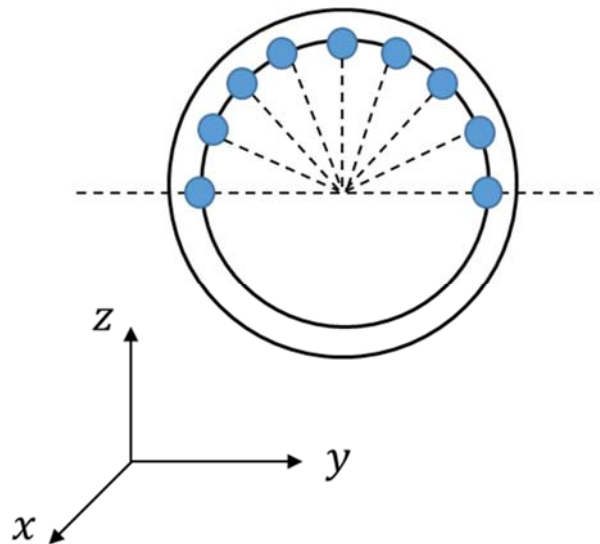


۱. یک مسئله مکان‌یابی منابع مغزی را با ۸ الکتروود ثبت‌کننده و ۹ دوقطبی در نظر بگیرید. برای سادگی فرض می‌کنیم، هم الکتروودها و هم دوقطبی‌ها در یک صفحه دوبعدی (مثلاً صفحه YZ به صورت زیر) قرار گرفته‌اند و دوقطبی‌ها به صورت منظم از محور $-Y$ تا Y واقع شده‌اند.

الف) اگر هر دوقطبی بتواند در هر سه جهت x ، y و z مولفه داشته باشد، ابعاد ماتریس lead_field چه قدر است؟

ب) اگر ماتریس lead_field را از مسئله مستقیم داشته باشیم و بدانیم که دوقطبی‌ها عمود بر سطح کرتکس (مدل کروی) هستند، روابط مربوط به حل مسئله مکان‌یابی را به ساده‌ترین فرم بنویسید.

ج) در حل مسئله معکوس قسمت (ب) به روش غیرپارامتری (با استفاده از مدل بی‌زین)، فرض کنید مکان و جهت دوقطبی‌ها ثابت بوده اما اندازه آنها در زمان متغیر است. همچنین پزشک بخش‌هایی از کرتکس را مشخص کرده که احتمال فعالیت دوقطبی‌ها در آن مناطق بیشتر است (به طور مثال شماره دوقطبی‌هایی که در این مناطق فعال قرار دارند، به ما داده شده است). با استفاده از روش WMNE، رابطه حل مسئله معکوس را به گونه‌ای که اطلاعات ارائه شده توسط پزشک در آن وارد شده باشد، بنویسید.



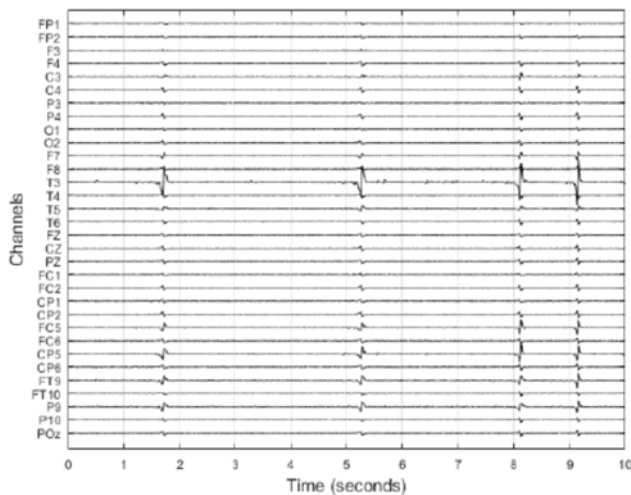
۲. به منظور ارزیابی یک الگوریتم مکان‌یابی منابع مغزی، یک مدل واقع‌گرایانه برای مغز در نظر گرفته شده که تمام سطح کرتکس را با ۵۰۰۰ دوقطبی با مکان معلوم و جهت ثابت و معلوم (عمود بر سطح کرتکس) پوشش می‌دهد و با در نظر گرفتن ۱۹ الکتروود از سیستم استاندارد ۱۰-۲۰ و یک مدل BEM مسئله مستقیم را حل می‌کند.

یک یا چند دوقطبی بر روی کرتکس در نظر گرفته شده است و فعالیت‌های صرعی اسپایکی به آنها نسبت داده شده است. با استفاده از مدل سر، مکان الکتروودها، مکان دوقطبی‌ها و فعالیت نسبت داده شده به آنها، پتانسیل مغزی بر روی الکتروودها محاسبه شده و پتانسیل‌ها به الگوریتم مکان‌یابی داده شده‌اند. هدف تعیین مکان منابع دوقطبی صرعی است.

(الف) مدل مسئله مستقیم را در حالت کلی با در نظر گرفتن همه ۵۰۰۰ دوقطبی بالقوه فعال بنویسید. ابعاد ماتریس ترکیب (leadfield) را به طور دقیق مشخص کنید.

(ب) یک دوقطبی در مکان r_i (از ۵۰۰۰ مکان ممکن) در نظر گرفته و یک فعالیت مشخص صرعی (در بازه‌ای به طول ۱۰۰۰ نمونه زمانی) به آن نسبت می‌دهیم (جهت دوقطبی عمود بر سطح کرتکس است). فرمول محاسبه ولتاژ در الکترودها را به طور دقیق بنویسید. ابعاد ماتریس‌های مربوط به دوقطبی‌ها، پتانسیل الکترودها و ماتریس ترکیب را به طور دقیق مشخص کنید.

(ج) برای حل مسئله مکان‌یابی منابع صرعی از میانگین دامنه ولتاژ کانال‌ها در یک پنجره حول قله اسپایک استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن روابط قسمت (الف) و (ب)، روابط حل مسئله مکان‌یابی را با استفاده از روش WMNE بنویسید. فرمول نهایی پاسخ را نیز بنویسید. ابعاد همه ماتریس‌ها و بردارها را به طور دقیق مشخص کنید.



توجه: یک نمونه از سیگنال شبیه‌سازی شده در شکل نشان داده شده است.

(د) فرض کنید با اعمال الگوریتم مکان‌یابی قسمت (ج)، برای هر دوقطبی، اندازه ممان آن به دست آمده است. می‌خواهیم با استفاده از یک روش ساده کارایی الگوریتم مکان‌یابی را بررسی کنیم. معیاری ارائه دهید که کارایی الگوریتم را از نظر صحت تخمین مکان دوقطبی بسنجد. جزییات محاسبه این معیار را شرح دهید.

(ه) معیاری ارائه دهید که الگوریتم مکان‌یابی را از منظر تخمین ممان دوقطبی در زمان ارزیابی کند.

(و) در آزمایش دیگر، دو دوقطبی را در مکان‌های غیرمجاور r_i و r_j (در دو لوب مختلف مغزی) در نظر گرفته و دو فعالیت همبسته صرعی ($x_i(t)$ و $x_j(t)$) را به هر یک از دوقطبی‌ها نسبت می‌دهیم. فرمول محاسبه ولتاژ در الکترودها را به طور دقیق بنویسید. ابعاد ماتریس‌های مربوط به دوقطبی‌ها، پتانسیل الکترودها و ماتریس ترکیب را به طور دقیق مشخص کنید.

(ز) فرض کنید با یک الگوریتم غیرپارامتری ممان دوقطبی‌ها را تعیین کرده‌ایم. معیارهایی برای ارزیابی الگوریتم مکان‌یابی (از نظر تخمین مکان و ممان دوقطبی‌ها) ارائه دهید. جزییات محاسبه معیارها را توضیح دهید.

(ح) فرض کنید با یک الگوریتم پارامتری مکان و ممان دوقطبی‌ها را تعیین کرده‌ایم. نحوه ارزیابی الگوریتم مکان‌یابی چه تفاوتی با بخش (ز) دارد؟

۳. در یک آزمایش تحریک بینایی، سیگنال مغزی کاربر از همه سطح سر با استفاده از ۳۲ الکتروود قرار گرفته در یک سیستم 10-20 ثبت می‌شوند. می‌خواهیم تغییرات مکان پردازش اطلاعات بینایی را در طول زمان بررسی کنیم (در این آزمایش انتظار داریم که ابتدا فعالیت در ناحیه پس‌سری (ناحیه اولیه بینایی) باشد و به تدریج به سمت نواحی مرکزی سر انتقال یابد). مکان فعالیت مغزی را فقط با یک دوقطبی مدل می‌کنیم که در طول زمان، مکان و ممان آن تغییر می‌کند.

توجه: در این مسئله هدف، مدل‌سازی است نه حل مسئله. پس نگران پیچیده شدن روابط و مدل‌ها نباشید.

(الف) مدل مسئله مکان‌یابی منابع مغزی را با در نظر گرفتن یک دوقطبی متغیر (با مکان و ممان نامعلوم) در یک نمونه زمانی t_i بنویسید.

(ب) حل مسئله معکوس قسمت (الف)، در دسته چه نوع روش‌هایی قرار می‌گیرد؟ چرا؟ تابعی را که در این مسئله بایستی بهینه (ماکزیم یا مینیموم) شود، به صورت دقیق بر حسب معلومات مسئله بنویسید. دقیقاً مشخص کنید که تعداد مجهولات مسئله چه قدر است.

(ج) با توجه به ماهیت مسئله، فرض می‌کنیم در طول یک بازه زمانی به اندازه ۱۰ نمونه زمانی، مکان دوقطبی ثابت بوده و فقط ممان آن تغییر می‌کند. مدل قسمت (الف) را در این حالت برای یک بازه زمانی ۱۰ نمونه‌ای تکمیل کنید. تابع بهینه‌سازی را بر حسب معلومات مسئله بنویسید. در این حالت نیز دقیقاً مشخص کنید که تعداد مجهولات مسئله چه قدر است.

(د) اگر در قسمت (ج)، در طول بازه زمانی ۱۰ نمونه‌ای، علاوه بر ممان دوقطبی‌ها، مکان دوقطبی‌ها هم متغیر بود، مسئله چه تغییری می‌کرد؟ تعداد مجهولات مسئله چه قدر بود؟ حساسیت به نویز در حل مسئله (ج) بیشتر است یا (د)؟

(ه) اگر در قسمت (ج) (با فرض ثابت بودن مکان دوقطبی در طول بازه زمانی با ۱۰ نمونه)، علاوه بر قید اصلی "سازگاری با داده‌های ثبت‌شده"، این قید را نیز اضافه کنیم که تغییرات ممان دوقطبی در این بازه در نمونه‌های متوالی خیلی زیاد نیست و تغییرات به نرمی انجام می‌شود، تابع بهینه‌سازی قسمت (ج) را تکمیل کنید.

(و) اگر در قسمت (ه)، در نظر بگیریم که ۵ بازه زمانی متوالی داریم که برای هر یک شرایط قسمت (ج) برقرار است ولی مکان دوقطبی در بازه‌های مجاور می‌تواند متفاوت باشد، تابع بهینه‌سازی قسمت (ه) را تکمیل کنید.

ز) اگر در قسمت (و)، این قید را اضافه کنیم که در بازه‌های متوالی (۵ بازه متوالی، هر یک به طول ۱۰ نمونه زمانی)، تغییرات مکان دوقطبی‌ها به آرامی انجام می‌شود (و تغییرات شدید در مکان دوقطبی‌ها نداریم)، تابع بهینه‌سازی قسمت (و) را تکمیل کنید.

۴. به منظور ارزیابی یک الگوریتم مکان‌یابی منابع مغزی، یک مدل واقع‌گرایانه برای مغز در نظر گرفته شده که تمام سطح کرکس را با ۵۰۰۰ دوقطبی با مکان معلوم و جهت ثابت و معلوم (عمود بر سطح کرکس) پوشش می‌دهد و با در نظر گرفتن ۱۹ الکتروود از سیستم استاندارد ۱۰-۲۰ و با یک مدل خطی BEM مسئله مستقیم را حل می‌کند.

دو patch در نواحی گیجگاهی راست و پیشانی راست هر کدام شامل ۱۰۰ دوقطبی به هم پیوسته در نظر می‌گیریم (Patch1 و Patch2). پتانسیل EEG ایجادشده از فعالیت Patch1 در بازه زمانی T نمونه‌ای را $M_1 \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ و پتانسیل EEG ایجادشده از فعالیت Patch2 در بازه زمانی T نمونه‌ای را $M_2 \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ می‌نامیم. پتانسیل حاصل از فعالیت هم‌زمان هر دو ناحیه را $M \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ می‌نامیم.

الف) مدل مسئله مستقیم را با فعال در نظر گرفتن دوقطبی‌های Patch1 بنویسید. ابعاد ماتریس ترکیب (leadfield) را به طور دقیق مشخص کنید.

ب) برای مسئله بخش (الف)، می‌خواهیم با استفاده از روش WMNE مکان‌یابی انجام دهیم. مسئله بهینه‌سازی متناظر را نوشته و راه‌حل نهایی را به صورت یک فرمول فرم‌بسته بنویسید. ابعاد همه ماتریس‌های استفاده‌شده را بنویسید. نتیجه به دست آمده از این بخش را به صورت $Q_1 \in \mathbb{R}^{5000 \times T}$ در نظر بگیرید. (توجه کنید که در این مسئله برای هر دوقطبی جهت ثابت بوده و فقط یک مجهول دامنه داریم).

ج) با در نظر گرفتن $M_2 \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ به عنوان پتانسیل حاصل از فعالیت Patch2، نتیجه (ب) را برای Patch2 بازنویسی کنید ($Q_2 \in \mathbb{R}^{5000 \times T}$).

د) در صورتی که هر دو Patch فعال باشند (پتانسیل حاصل را $M \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ می‌نامیم)، پاسخ $Q \in \mathbb{R}^{19 \times T}$ که با استفاده از روش WMNE به دست می‌آید را برحسب پاسخ بخش‌های (ب) و (ج) بنویسید (Q_1 و Q_2) و ساده کنید.

ه) اگر با در نظر گرفتن یک آستانه مشابه برای بخش‌های (ب) و (ج)، ماتریس‌های درهم‌ریختگی متناظر و هم‌چنین شماره دوقطبی‌های متناظر با هر یک از دو ماتریس درهم‌ریختگی به صورت زیر باشد I_k و J_k مجموعه‌های شامل شماره دوقطبی‌های متناظر است):

		واقعی	
		P	N
تنبیه	P	70	1000
	N	30	3900
		Patch1	

		واقعی	
		P	N
تنبیه	P	65	900
	N	35	4000
		Patch2	

		واقعی	
		P	N
تنبیه	P	I_1	I_2
	N	I_3	I_4
		Patch1	

		واقعی	
		P	N
تنبیه	P	J_1	J_2
	N	J_3	J_4
		Patch1	

در مورد ماتریس درهم‌ریختگی متناظر با فعالیت هر دو Patch به صورت هم‌زمان (پتانسیل $M \in \mathbb{R}^{19 \times T}$) با همان آستانه، چه می‌توان گفت؟ مجموع $TP + FN$ در این حالت چه قدر است؟ مجموع $TN + FP$ چه قدر است؟ صحت (Accuracy) این حالت را با استفاده از اطلاعات بالا به ساده‌ترین فرم بنویسید.

(و) برای مسئله بخش (الف)، می‌خواهیم با استفاده از یک روش پارامتری (جستجوی غیرخطی)، یک دوقطبی متناظر با فعالیت Patch1 ($M_1 \in \mathbb{R}^{19 \times T}$) بیابیم (فرض می‌کنیم در کل بازه زمانی T مکان و ممان دوقطبی ثابت است). فرم مسئله بهینه‌سازی برای یافتن این دوقطبی را بنویسید. ابعاد همه ماتریس‌های استفاده‌شده را بنویسید. این بخش را برای فعالیت Patch2 نیز تکرار کنید.

(ز) برای فعالیت هم‌زمان دو Patch و با در نظر گرفتن ۲ دوقطبی فعال، بخش (و) را تکرار کنید. چه ارتباطی بین نتیجه بخش (ز) و بخش (و) وجود دارد؟ (ارتباط بین دو دوقطبی به‌دست آمده از بخش (ز) و دو دوقطبی به‌دست آمده از بخش (و))

۵. در محاسبه ارتباطات کارکردی مغزی با استفاده از معیار ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی دو الکتروود ۱ و ۲ به صورت $\rho_{x_1 x_2}$ محاسبه شده است که $x_1(t)$ و $x_2(t)$ فعالیت ثبت‌شده در دو الکتروود نسبت به یک الکتروود غیرفعال روی استخوان ماستوئید است (فعالیت الکتروود مرجع را صفر در نظر می‌گیریم). اگر $y_1(t)$ و $y_2(t)$ فعالیت این دو الکتروود نسبت به الکتروود فعال ۳ در بخش پیشانی باشد که فعالیت آن به صورت $x_3(t)$ است و دو الکتروود ۱ و ۳ و همچنین ۲ و ۳ ناهم‌بسته باشند، مقدار همبستگی $\rho_{y_1 y_2}$ را محاسبه کرده و به فرم زیر ساده نمایید.

$$\rho_{y_1 y_2} = \rho_{x_1 x_2} (\sqrt{1+\gamma} \sqrt{1+\gamma})^{-1} + (\sqrt{1+\gamma} \sqrt{1+\gamma})^{-1}$$

واریانس سیگنال‌های $x_1(t)$ ، $x_2(t)$ و $x_3(t)$ را به ترتیب با σ_1^2 ، σ_2^2 و σ_3^2 نمایش دهید.

۶. الف) با محاسبه ارتباطات کارکردی مغزی و تشکیل گراف باینری متناظر، ویژگی‌های زیر را برای هر الکتروود (معادل رأس i در گراف) تعریف کرده‌ایم:

$$M(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

$$Q(i) = \frac{1}{N_{G_i}(N_{G_i}-1)} \sum_{j \neq h \in G_i} \frac{1}{d_{jh}}$$

که N تعداد رأس‌های گراف بوده و d_{ij} طول کوتاه‌ترین مسیر بین دو رأس i و j است. G_i زیرگرافی است که شامل رأس i و همه همسایه‌های مستقیم آن است و N_{G_i} تعداد رأس‌ها در زیرگراف G_i است. همچنین دو ویژگی M_{all} و Q_{all} به صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$M_{all} = \frac{1}{N} \sum_i M(i), \quad Q_{all} = \frac{1}{N} \sum_i Q(i)$$

هر یک از ویژگی‌های $M(i)$ ، $Q(i)$ ، M_{all} و Q_{all} بیان‌گر چه مفهومی در گراف ارتباطات مغزی هستند؟ در چه دسته‌ای از معیارها (سنجش تفکیک‌پذیری، سنجش یکپارچگی و سنجش مرکزیت) قرار می‌گیرند؟

ب) می‌خواهیم در یک مسئله BCI آنلاین برای طبقه‌بندی سیگنال‌ها در دو کلاس "تصور حرکت دست" و "انجام عمل تفریق ذهنی"، از ویژگی‌های معرفی‌شده در قسمت (الف) در باندهای مختلف فرکانسی استفاده کنیم. همه مراحل را از پروتکل ثبت (فاز آموزش و آزمون)، پنجره‌گذاری، استخراج گراف ارتباطات مغزی، نحوه ایجاد بردار ویژگی‌ها و طبقه‌بندی توضیح دهید.

۷- در یک مطالعه نشان داده شده است که در افراد صرعی در زمان تشنج، نواحی مختلف مغز به صورت یکپارچه در باندهای فرکانسی آلفا و بتا فعال می‌شوند. مجموعه دادگان EEG از یک روز یک بیمار صرعی داریم که در آن بازه‌های رخداد تشنج مشخص شده است (داده آموزش). مجموعه دادگان همین فرد از روز دیگر را نیز در اختیار داریم که بازه‌های تشنجی مشخص نشده است. می‌خواهیم با استفاده از معیارهای ارتباطات کارکردی و ویژگی‌های مرتبط با گراف ارتباطات کارکردی، بازه‌های تشنجی روز دوم را تعیین کنیم. در پاسخ خود نکات زیر را توضیح دهید:

- پیش‌پردازش در صورت نیاز
- نحوه بازه‌بندی داده‌های آموزش و برچسب‌گذاری آنها

- فیلتر کردن داده‌ها در صورت نیاز
- استخراج ویژگی (چه ویژگی‌هایی، چرا و چگونه؟)
- انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی
- نحوه ارزیابی داده‌های آموزش
- نحوه تعیین بازه‌های تشنجی در داده‌های روز دوم (با جزییات مورد نیاز)