



بسمه تعالی
دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی برق

سیگنالها و سیستمها ۲۵۷۴۲ گروه ۴ - ترم بهار ۹۷-۱۳۹۶

Matlab HW #3

موعد تحویل: ساعت ۸ شنبه ۱۸ فروردین

گزارش کار

در گزارش باید به تمامی سوالات تمرین پاسخ دهید، نمودارها و نتایج به دست آمده را ارائه کرده و توضیحات کلیه فعالیت هایتان را مکتوب کنید.
فرمت: HW03_FamilyName1_FamilyName2_StudentID1_StudentID2.pdf

فایل اصلی متلب

کدی که تمام بخش های تمرین را اجرا کند، کامنت گذاری مناسب داشته باشد و بخش های تمرین در آن تفکیک شده باشد.

فرمت HW03_FamilyName1_FamilyName2_StudentID1_StudentID2.m

فایل یکپارچه نهایی

با فرمت zip یا rar و با اسم HW03_FamilyName1_FamilyName2_StudentID1_StudentID2 در CW آپلود شود.

معیار نمره دهی

- ساختار مرتب و حرفه ای گزارش: 10%
- استفاده از توابع مناسب و الگوریتم های مناسب و کامنت گذاری کد: 15%
- پاسخ به سوالهای تئوری و توضیح روشهایی که سوال ها از شما خواسته اند: 10%
- کد و گزارش خروجی کد برای خواسته های مسائل: 65%
- برای روشهای ابتکاری و فرادرسی ای که موجب بهبود کیفیت تمرین شود: 10%+

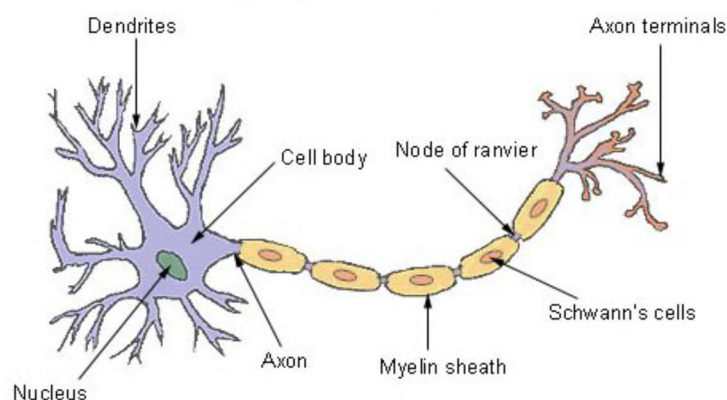
نکات تکمیلی

- به ازای هر ساعت تاخیر در آپلود، ۱۰ درصد از نمره اخذ شده از آن تمرین کسر می گردد.

شرافت انسانی ارزشی به مراتب والاتر از تعلقات دنیوی دارد. رونویسی تمرین ها زیر پا گذاشتن شرافت خویشتن است.
به کسانی که شرافتشان را زیر پا می گذارند هیچ نمره ای تعلق نمی گیرد.

بخش اول: مقدمه

مغز انسان از میلیاردها (10^{11}) واحد پردازنده به نام نورون تشکیل شده است. همان طور که در شکل می بینید، هر نورون از سه بخش به نام های آکسون، جسم سلولی و دندريت تشکیل شده است. دندريت ها گیرنده يا ورودی های این واحد پردازنده هستند، جسم سلولی پردازش ها را انجام می دهد، و آکسون خروجی نورون است که پالس های الکتریکی تولید شده توسط نورون را به دندريت سایر نورون ها یا بافت های دیگر می رساند.



شکل ۱: قسمت های اصلی یک نورون

از سیگنال های الکتریکی مغز می توان برای تشخیص چگونگی فعالیت مغز یا تشخیص حالات یا مقاصد ذهنی افراد استفاده کرد. در این تمرین قصد داریم با رابط های مغز-رایانه آشنا شویم که امروزه تحقیقات بسیار زیادی بر روی آنها انجام می شود. در ادامه به برخی کاربردهای این سیستم ها اشاره می کنیم.

رابط مغز- رایانه (Brain Computer Interface):

افرادی که ناتوانی های حرکتی یا گفتاری دارند نیاز دارند مقاصد خود را از روش های دیگری به دیگران منتقل کنند. رابط مغز رایانه راهی متفاوت برای ارتباط فرد با دنیای بیرون ارائه می دهد. رابط مغز-رایانه از مجموعه ای از سنسورها و اجزای پردازش سیگنال تشکیل می شود. در این سیستم سعی میشود به کمک اطلاعاتی که از سیگنال های مغزی یک فرد به دست می آید، خواسته های شخص به سیگنال های کنترلی برای دستگاه خارجی مانند کامپیوتر تبدیل شود. برای این منظور ابتدا لازم است سیگنال های مغزی را ثبت کنیم. بعد از ثبت سیگنال های مغز لازم است از این سیگنال ها یک سری ویژگی استخراج شود و سیگنال ها با توجه به ویژگی های استخراج شده طبقه بندی شوند تا بتوان افکار یا خواسته های مختلف فرد را تفسیر نمود. یکی از روش های ثبت سیگنال مغز الکتروانسفالوگرافی (EEG) می باشد که در این تمرین از آن استفاده خواهیم کرد.

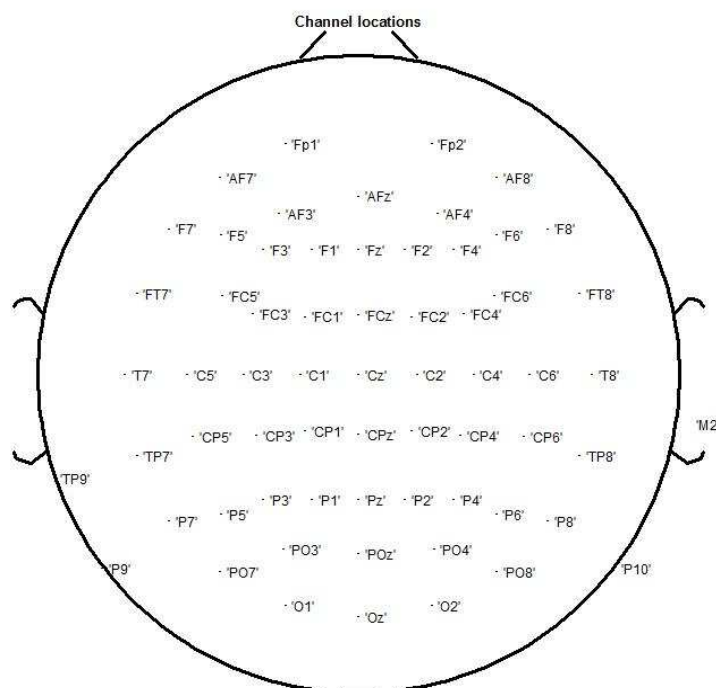
شرح آزمایش:

در این تمرین قصد داریم با استفاده از پردازش سیگنال های EEG و استفاده از یک ابزار ساده یادگیری ماشین، به تشخیص قصد و اراده مغز برای حرکت بپردازیم.

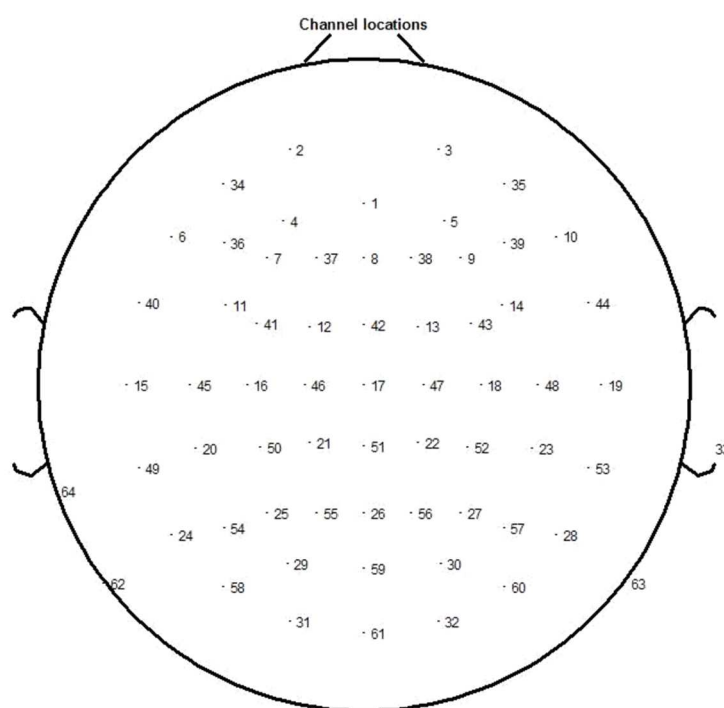
شرح داده ها:

سیگنالهای EEG از ۷ فرد سالم راست دست (۳ زن و ۴ مرد) با میانگین سنی ۳۱ سال ثبت شده است. سیستم ثبت سیگنال دارای ۶۴ کانال و فرکانس نمونه برداری 2400 Hz بوده است و فیلتر حذف برق شهر نیز حین ثبت داده فعال بوده است. آرایش الکترودها در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. کانال شماره 33 الکترود مرجع است که به گوش راست، و زمین به الکترود Fpz وصل شده است.

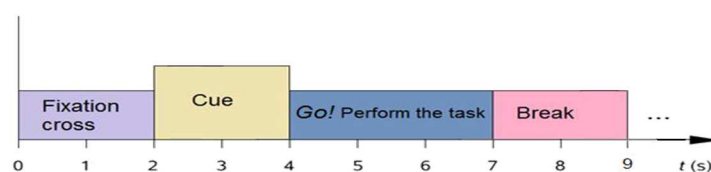
ابتدا به مدت ۲ دقیقه سیگنالهای EEG فرد در حالت استراحت و چشم بسته و سپس به مدت ۲ دقیقه در حالت استراحت و چشم باز ثبت شده است. سپس پروتکل آزمایش اجرا شده است. فرد بر روی یک صندلی راحت نشسته و روبروی وی در فاصله نیم متری صفحه نمایش قرار دارد. دو کاری که فرد حین آزمایش باید انجام دهد اجرای حرکت و نیز تصور اجرای حرکت است. اندام های مورد نظر برای حرکت دادن عبارتند از: انگشت شست راست، پای راست، و بازوی راست. پروتکل آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲: آرایش الکترود ها بر حسب نام آنها



شکل ۳: آرایش الکترود ها بر حسب شماره آنها در ماتریس داده ها



شکل ۴: پروتکل آزمایش

ابتدا علامت + در مرکز صفحه نمایش به مدت ۲ ثانیه نشان داده می شود در این مدت فرد نباید به موضوعی فکر کند و باید آماده مشاهده نشانه باشد. در ۲ ثانیه بعد، نشانه مورد نظر ظاهر می شود. شش نوع نشانه در این پروتکل استفاده شده است که اجرا و یا تصور اجرای حرکت اندام های مذکور را به فرد نشان می دهند. پس از گذشت ۲ ثانیه، نشانه محو شده و کلمه "Go" ظاهر می شود و فرد از لحظه مشاهده آن ۳ ثانیه فرصت خواهد داشت تا کار مورد نظر را اجرا کند (یعنی بسته به نوع نشانه، حرکت مربوطه را اجرا کند و یا اجرای آن را تصور کند).

هر نشانه اجرای حرکت ۲۰ بار به طور تصادفی در حین اخذ سیگنال نشان داده شده است. پس از هر نشانه اجرای حرکت، نشانه مربوط به تصور آن حرکت به فرد نشان داده شده است.

بر روی داده های پیوسته EEG از ابتدا تا انتهای مرحله اجرای کار (به مدت ۳ ثانیه) پنجره گذاری شده است. به ازای هر یک از افراد دو فایل با نام های Subject_i_MotorImagery.mat و Subject_i_MotorExecution.mat ارائه شده است که i نشانگر شماره فرد است. پسوند فایل بیانگر پروتکل آزمایش (اجرا و یا تصور حرکت) می باشد. هر یک از این فایل ها حاوی یک متغیر سلول با نام Train_Data و یک آرایه Test_Data_Scrambled است که به ترتیب برای آموزش الگوریتم ها و سپس تست عملکرد آنها مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

متغیر Train_Data سلولی به اندازه $1 \times C$ است که C نشانگر تعداد کلاس هاست:

کلاس 1: بازوی راست

کلاس 2: پای راست

کلاس 3: انگشت شست راست

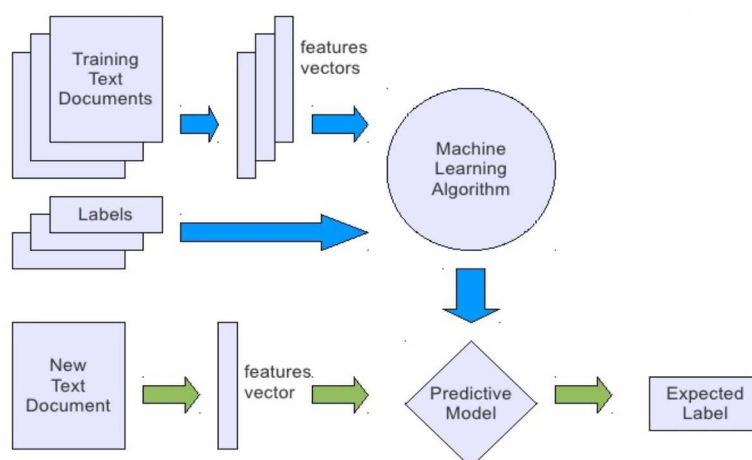
کلاس 4: فاقد حرکت (این کلاس در حالت تصور حرکت وجود ندارد)

هر یک از سلولهای متغیر Train_Data یک ماتریس ۳ بعدی با اندازه $Ch \times T \times N$ می باشد.

Ch تعداد کانال های EEG، T نمایانگر تعداد نقاط داده و N تعداد trial ها را نشان میدهد. تعداد trial لزوماً در تمام کلاس ها برابر نیست. متغیر Test_Data_Scrambled یک آرایه 3 بعدی با اندازه $Ch \times T \times M$ است که M نمایانگر trial است. توضیح اینکه trial ها در متغیر Test_Data_Scrambled حالت رندوم دارد و از ترتیب خاصی پیروی نمی کند.

فرآیند کلی در حل مسئله طبقه بندی:

مسئله طبقه بندی را می توان در حالت کلی به صورت نشان داده شده در دیاگرام شکل ۵ بیان کرد:



شکل ۵: فلوچارت یادگیری طبقه بند

همان گونه که در دیاگرام نشان داده شده است، حل مسئله طبقه بندی دو بخش دارد:

- ۱ - آموزش طبقه بندی کننده توسط داده های آموزشی و برچسب های متناظر با آنها
- ۲ - تعیین برچسب های متناظر با داده های آزمون (تست) توسط طبقه بندی کننده آموزش دیده

برای آموزش طبقه بندی کننده توسط داده های آموزش، ابتدا باید از روی سیگنال های زمانی ویژگی های ریاضی موثر استخراج شوند. ویژگی هایی را موثر می نامیم که بتوان با استفاده از آنها به بهترین نحو طبقه بندی کننده را آموزش داد. بدین منظور میتوان ویژگی های متعددی را که در ادبیات پردازش سیگنال های مغزی معرفی شده اند، از روی سیگنال ها استخراج کرده و سپس با استفاده از روش های انتخاب ویژگی های موثر، ویژگی های برتر را انتخاب نمود. پس از آموزش طبقه بندی کننده توسط ویژگی های موثر استخراج شده از داده های آموزشی، همان ویژگی ها را از داده های آزمون استخراج می کنیم و با استفاده از طبقه بندی کننده آموزش دیده در مرحله قبل برچسب داده های آزمون را تعیین می نمائیم.

شیوه پردازش:

۱- پیش پردازش:

برای ادامه `Subject_i_MotorExecution.mat` را در محیط متلب باز کنید و برای همه آزمایش شوندگان و همه فعالیت ها مراحل زیر را انجام دهید. در این تمرین برای قسمت اجباری فقط پردازش داده های مربوط به **انجام فعالیت** مد نظر است و پردازش داده های **تصور حرکت** امتیازی است.

۱- فیلتر فرکانسی:

همان طور که در تمرین قبل مشاهده کردید، رنج فرکانسی سیگنال های مغزی بازه کوچکی در فرکانس های پایین است، پس انرژی ای که در فرکانس های زیاد وجود دارد اطلاعات مفیدی برای ما در بر ندارد، و لذا می توان با استفاده از یک فیلتر فرکانسی پایین گذر، اطلاعاتی که برای مقصود ما به عنوان نویز هستند را حذف کرد. بنابراین با فیلتری که خودتان انتخاب می کنید سیگنال را تا فرکانس قطع ۶۰ هرتز فیلتر کنید. (راهنمایی: انتخاب شما برای فیلترتان بستگی به قدرت سخت افزاری دارد که در اختیار دارید. هر قدر سخت افزار قوی تری در اختیار داشته باشید میتوانید فیلتر بهتری استفاده کنید و نتایج بهتری بگیرید.)

۲- کاهش نرخ نمونه برداری:

در ادامه درس سیگنال ها و سیستم ها خواهید دید که فرکانس نمونه برداری مناسب برای یک سیگنال پایین گذر شده (از فیلتر پایین گذر عبور کرده) دو برابر فرکانس حداکثر (یا فرکانس قطع) آن سیگنال است. بنابراین فرکانس نمونه برداری داده های موجود برای مقصود ما بسیار زیاد است و می توان نرخ نمونه برداری را کاهش داد. به عنوان مثال به رابطه زیر توجه کنید:

$$y[n] = x[2n]$$

این سیستم نمونه های زوج موجود در ورودی خود را عیناً به خروجی منتقل می کند و نمونه های فرد را دور می ریزد. بدین ترتیب این سیستم نرخ نمونه برداری را نصف می کند. به این گونه سیستم ها `downsampler` گفته می شود. با توجه به فرکانس نمونه برداری داده های این آزمایش و فرکانس قطع بخش ۱، یک سیستم `downsampler` مناسب برای این داده ها انتخاب کنید تا نرخ نمونه برداری را تا حد مناسب کاهش دهد. به نظر شما کاهش نرخ نمونه برداری سیگنال چه سودی خواهد داشت؟

۳- (امتیازی) کاهش نویز:

در تمرین قبل و در جلسه آموزشی مربوط به آن با برخی منابع نویز بر روی سیگنال های EEG آشنا شدید. با ذکر دلیل، هر کاری می توانید برای حذف یا کاهش نویز سیگنال انجام دهید.

۲- استخراج ویژگی:

در ادامه به معرفی برخی ویژگی ها در سیگنال می پردازیم که ممکن است برای طبقه بندی کردن مفید باشد. بدیهی است که ویژگی هایی که می توان از سیگنال EEG استخراج کرد محدود به اینها نبوده و می توان ویژگی های ریاضی بسیار زیادی یافت که در اینجا آورده نشده اند. اکیدا توصیه می شود با جستجو در اینترنت یا پرسش از افرادی که تجربه کار کردن با سیگنال های EEG را دارند به دنبال ویژگی های مفید و موثر بگردید،

چون ویژگی های معرفی شده در این قسمت به هیچ وجه بهترین ویژگی های ممکن نیستند. (راهنمایی: نگاهی دوباره به تمرین دوم می تواند در یافتن ویژگی های جدید خارج از این جدول کمک کننده باشد. رسم نمودار سیگنال های کلاس های مختلف در حوزه فرکانس و زمان هم ممکن است به شما برای یافتن ویژگی های مفید کمک کند).

۱- ویژگی های آماری:

نام ویژگی	تعریف
واریانس	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s[n] - \bar{s})^2$
هیستوگرام دامنه	چگالی فراوانی دامنه در بازه های معین
همبستگی دو سیگنال	$\sigma_{s_i, s_j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s_i[n] - \bar{s}_i)(s_j[n] - \bar{s}_j)$
مونتوم بین داده های هر دو کانال	در باره این ویژگی تحقیق کنید و در گزارش کار به طور خلاصه توضیح دهید
فرم فاکتور برای داده های هر کانال	در باره این ویژگی تحقیق کنید و در گزارش کار به طور خلاصه توضیح دهید

۲- ویژگی های فرکانسی:

نام ویژگی	تعریف
فرکانس مد	فرکانسی که بیشترین دامنه را دارد
فرکانس میانگین	$f_{mean} = \frac{\int_0^{\infty} w \cdot S(w) dw}{\int_0^{\infty} S(w) dw}$
فرکانس میانه	$\int_0^{f_{mod}} S(w) dw = \int_{f_{mod}}^{\infty} S(w) dw$
ضرایب تبدیل گسسته سینوسی برای داده های هر کانال (DST)	https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_sine_transform
ضرایب تبدیل گسسته کسینوسی برای داده های هر کانال (DCT)	https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform
انرژی سیگنال در ۴ باند فرکانسی	$\delta(0 - 3.5\text{Hz}), \theta(3.5 - 7.5\text{Hz}), \alpha(7.5 - 13.5\text{Hz}), \beta(13.5 - 20\text{Hz})$

۳- استخراج ویژگی برای آزمایش تصور حرکت (امتیازی):

مرحله استخراج ویژگی را برای داده های تصور حرکت تکرار کنید. توجه کنید ویژگی های مفید برای قسمت قبل تقریباً هیچ فایده ای برای داده های تصور حرکت ندارند. در این قسمت باید با مطالعه و رسم نمودار های مناسب به این نتیجه برسید که ویژگی های خوب کدامند.

۴- انتخاب ویژگی های موثر:

ماتریس پخشی:

مقدار J-value برای هر ویژگی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$J = \frac{|S_b|}{|S_w|} = \frac{|\mu_0 - \mu_1|^2 + |\mu_0 - \mu_2|^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

که در آن μ_0 و μ_1 و μ_2 به ترتیب میانگین مقدار آن ویژگی در کل داده ها، میانگین ویژگی در گروه 1 و میانگین آن ویژگی در گروه 2 هستند. σ_1 و σ_2 به ترتیب واریانس آن ویژگی در گروه 1 و 2 هستند. صورت این کسر نشان دهنده فاصله بین دو کلاس مختلف داده ها (مثلاً یکی دارای حرکت و دیگری فاقد

حرکت) در فضای این ویژگی خاص است. مخرج کسر نشان دهنده فاصله سیگنال ها درون هر کلاس خاص است. بنابراین هر قدر مقدار این کسر برای یک ویژگی بیشتر باشد، آن ویژگی برای جدا کردن دو کلاس از هم بهتر است. در این تمرین از همین معیار برای انتخاب بهترین ویژگی ها استفاده خواهد شد.

۳- آموزش دادن طبقه بندی کننده:

با توجه به توضیحاتی که در جلسه تئوریال داده شد و استفاده از الگوریتم SVM (support vector machines) یک طبقه بندی کننده برای داده های هر یک از چهار کلاس: بدون حرکت، حرکت انگشت شست دست راست، حرکت بازوی راست، و حرکت پای راست آموزش دهید. با مراجعه به:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-validation_\(statistics\)#k-fold_cross-validation](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-validation_(statistics)#k-fold_cross-validation)

یا:

<http://statweb.stanford.edu/~tibs/sta306bfiles/cvwrong.pdf>

در باره k-fold cross validation مطالعه کنید. Cross validation یک روش مناسب برای آزمون کردن شیوه آموزش طبقه بندی کننده شما و پارامترهای دخیل در کیفیت آن مانند تعداد ویژگی های مورد استفاده در آموزش است. با استفاده از 5-fold cross validation و تغییر تعداد ویژگی های داده شده به ماشین، جواب خود را بهینه کنید. تعداد ویژگی های ورودی بهینه را به دست آورید. خطای طبقه بندی کننده های خود را نیز گزارش کنید. اگر نمودارهایی رسم می کنید حتما آنها را در گزارش کار خود بیاورید.

امتیازی: این مرحله را برای تصور حرکت نیز تکرار کنید.

۴- طبقه بندی کردن داده های آزمون:

در نهایت داده های آزمون را با استفاده از طبقه بندی کننده هایی که آموزش داده اید، طبقه بندی کنید. پاسخ خود را به صورت یک بردار متلب ذخیره کنید که شماره ۱ در آن نشان دهنده حرکت بازوی راست بوده، شماره ۲ نشان دهنده حرکت پای راست، شماره ۳ نشان دهنده حرکت انگشت شست دست راست، و شماره ۴ نشان دهنده بی حرکتی باشد.

امتیازی: همین عملیات را برای تصور حرکت هم انجام دهید. دقت کنید در این مرحله طبقه شماره ۴ وجود ندارد.

سال نو مبارک!