



مسئله بازشناسی الگو (سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام)

پروژه درس هوش محاسباتی

استخراج و انتخاب ویژگی‌های مؤثر، طبقه‌بندی، ارزیابی

سیستم‌های رابط مغز-رایانه

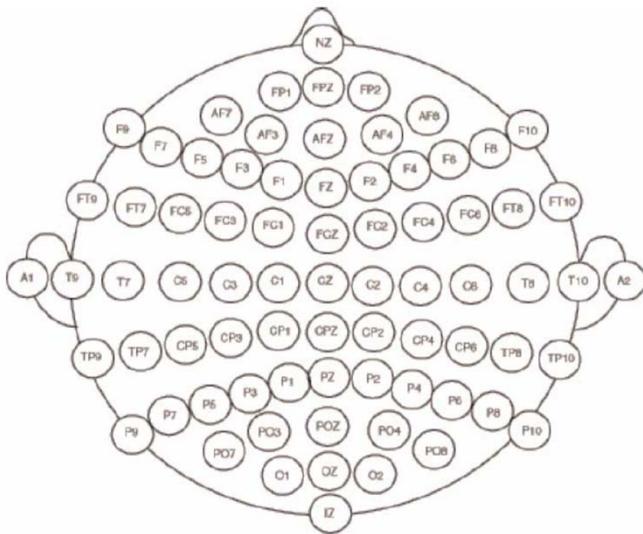


2

- در سیستم‌های رابط مغز-رایانه (BCI)، سعی می‌شود به کمک اطلاعاتی که از سیگنال‌های مغزی یک فرد به دست می‌آید، خواسته‌های شخص به سیگنال‌های کنترلی برای دستگاه‌های خارجی مانند کامپیوتر تبدیل شود.
- این سیستم‌ها یک پل ارتباطی میان سیگنال‌های مغزی شخص و دنیای خارج برقرار می‌نمایند.
- برای انجام این فرآیند لازم است پردازش‌های مختلفی بر روی سیگنال‌های مغزی ثبت شده انجام گیرد.



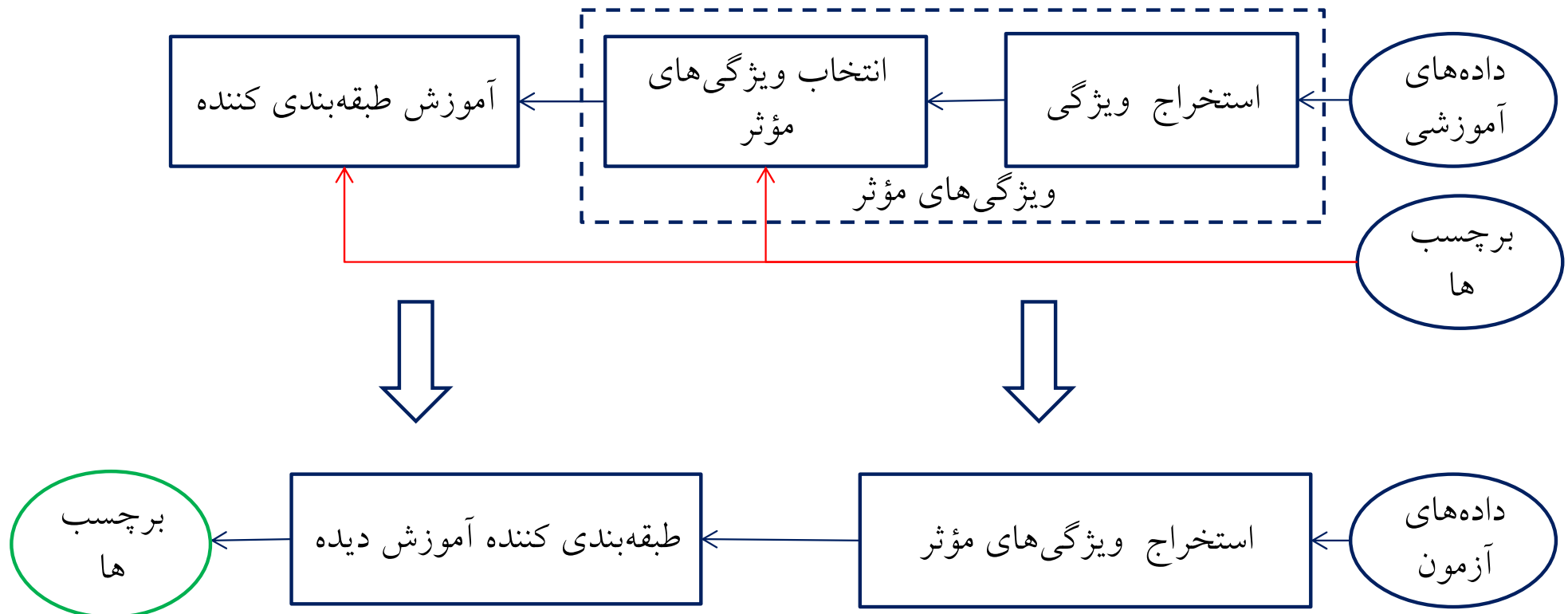
- الکتروانسفالوگرام (EEG) شامل ثبت فعالیت‌های مغزی با استفاده از الکترودهایی است که بر روی پوست سر قرار داده شده‌اند.
- تعداد الکترودهای ثبت معمولاً بین ۱۹ و ۲۵۶ متغیر است. این الکترودها به طور متقارن در هر دو نیم‌کره سر بر اساس مکان‌های استاندارد قرار گرفته‌اند.



فرآیند کلی در حل مسئله طبقه‌بندی



4



فرآیند کلی در حل مسئله طبقه‌بندی



5

□ حل مسئله طبقه‌بندی دو بخش دارد:

- ۱- آموزش طبقه‌بندی کننده توسط داده‌های آموزشی و برجسب‌های متناظر با آنها
- ۲- تعیین برجسب‌های متناظر با داده‌های آزمون توسط طبقه‌بندی کننده آموزش دیده

□ آموزش طبقه‌بندی کننده (شبکه عصبی مصنوعی) توسط داده‌های آموزشی:

- استخراج ویژگی‌های مؤثر از روی سیگنال‌های زمانی
- ویژگی‌های مؤثر: بتوان با استفاده از آنها به بهترین نحو طبقه‌بندی کننده را آموزش داد.
- استخراج ویژگی + انتخاب ویژگی‌های مؤثر
- آموزش طبقه‌بندی کننده توسط ویژگی‌های مؤثر استخراج شده از داده‌های آموزشی

فرآیند کلی در حل مسئله طبقه‌بندی



6

□ حل مسئله طبقه‌بندی دو بخش دارد:

- ۱- آموزش طبقه‌بندی کننده توسط داده‌های آموزشی و برجسب‌های متناظر با آنها
- ۲- تعیین برجسب‌های متناظر با داده‌های آزمون توسط طبقه‌بندی کننده آموزش دیده

□ تعیین برجسب داده‌های آزمون:

- ویژگی‌های مؤثر را از داده‌های آزمون استخراج می‌کنیم.
- با استفاده از طبقه‌بندی کننده آموزش دیده در مرحله قبل، برجسب داده‌های آزمون را تعیین می‌کنیم.

صورت مسئله به صورت خلاصه



7

- قبل و در حین انجام عمل تایپ کردن حروف با کیبورد (با انگشت راست و چپ به دلخواه)، سیگنال‌های مغزی از ۲۸ کانال ثبت شده‌اند.
- می‌خواهیم با طراحی یک شبکه عصبی به عنوان یک طبقه‌بندی کننده مناسب، سیگنال‌های مغزی ثبت شده را به دو کلاس «حرکت دست چپ» و «حرکت دست راست» طبقه‌بندی کنیم.

داده‌های مورد آزمایش



8

- داده‌های دسته چهارم مسابقات BCI2003 که توسط گروه برلین تهیه شده‌اند.
- این دسته داده‌ها از یک شخص عادی در حالت بدون فیدبک ثبت شده است.
- شخص مورد آزمایش بر روی یک صندلی عادی قرار گرفته است. دست‌ها بر روی میز تکیه داده شده و انگشت‌های او در موقعیت استاندارد برای تایپ بر روی کیبورد کامپیوتر قرار گرفته‌اند.
- وظیفه شخص فشردن ۴ کلید مشخص شده بر روی صفحه کلید با انگشتان کوچک یا اشاره دست راست یا چپ به خواست خود و با زمان بندی دلخواه است (Self-paced key typing).

داده‌های مورد آزمایش



9

□ آزمایش از سه نوبت ۶ دقیقه ای تشکیل شده است. تمام نوبت‌ها در یک روز با چند دقیقه استراحت بین آنها انجام شده‌اند. عمل تایپ با سرعت متوسط یک کلید در هر ثانیه انجام می‌شود.

□ داده‌ها به صورت ۴۱۶ دوره به طول ۵۰۰ میلی ثانیه هستند که ۱۳۰ میلی ثانیه قبل از فشردن کلید تمام می‌شوند. فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز بوده و داده‌ها از فیلتر میان گذر ۰.۰۵ تا ۲۰۰ هرتز گذرانده شده‌اند.

داده‌های مورد آزمایش



10

□ داده‌ها با استفاده از تقویت کننده Neuroscan و الکترودهای Ag/AgCl ثبت شده‌اند. از ۲۸ کانال اندازه‌گیری EEG که در موقعیت استاندارد جهانی سیستم ۱۰-۲۰ قرار گرفته‌اند، برای ثبت داده‌ها استفاده شده است.

| Number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Channel | F3 | F1 | Fz | F2 | F4 | FC5 | FC3 |
| Number | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Channel | FC1 | FCz | FC2 | FC4 | FC6 | C5 | C3 |
| Number | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| Channel | C1 | Cz | C2 | C4 | C6 | CP5 | CP3 |
| Number | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Channel | CP1 | CPz | CP2 | CP4 | CP6 | O1 | O2 |

داده‌های مورد آزمایش

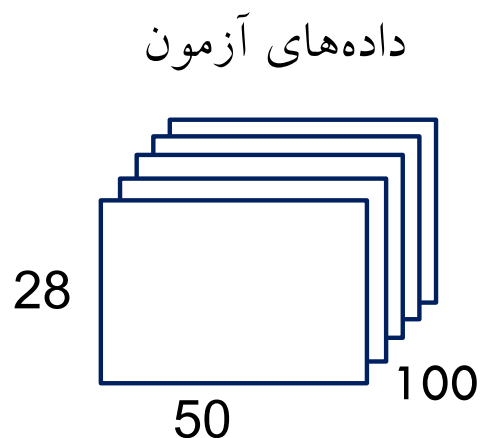
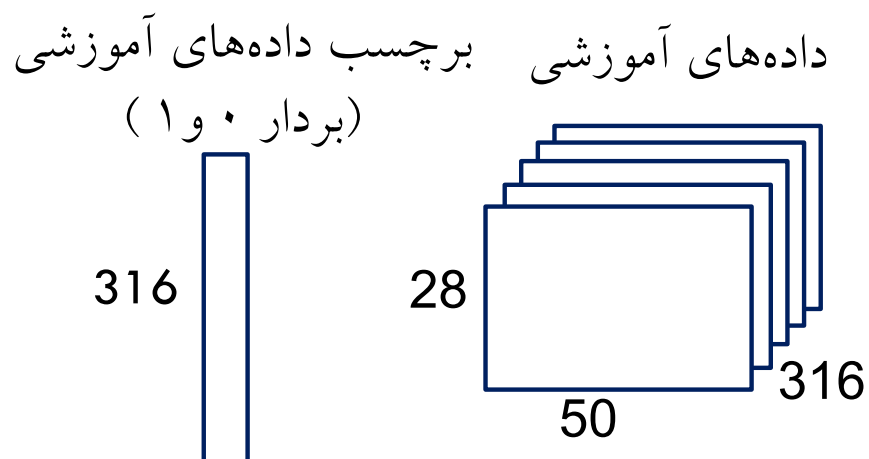


□ با توجه به محدودیت باند فرکانسی سیگنال‌های مغزی و به منظور حذف نویزهای احتمالی (مانند برق شهر) ابتدا داده‌ها را از یک فیلتر پایین گذر ۴۵ هرتز می‌گذرانیم. سپس برای افزایش سرعت پردازش، نرخ نمونه‌برداری را کاهش داده و به ۱۰۰ هرتز می‌رسانیم.

□ سیگنال‌هایی که در اختیار شما قرار داده شده‌اند، سیگنال‌های پیش‌پردازش شده با نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز هستند.

داده‌های مورد آزمایش

12



□ تعداد کل داده‌ها: ۴۱۶ آزمایش

□ داده‌های آموزشی: ۳۱۶ آزمایش

□ کلاس مربوط به آنها مشخص شده است:

■ ۰: حرکت دست چپ

■ ۱: حرکت دست راست

□ داده‌های آزمون: ۱۰۰ آزمایش

□ هدف: تعیین برچسب داده‌های آزمون

معرفی چند ویژگی معروف در پردازش سیگنال‌های EEG



13

□ ویژگی‌های آماری

□ سادگی محاسبه و همچنین داشتن اطلاعات مناسبی از شکل موج

□ قابل محاسبه برای هر یک از کانال‌های سیگنال EEG ثبت شده

| نام ویژگی | تعریف |
|---------------------------------|---|
| واریانس | $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s[n] - \bar{s})^2$ |
| هیستوگرام دامنه | چگالی دامنه در بازه‌های معین |
| ضرایب مدل AR | |
| فرم فاکتور ^۳ | نسبت پویایی مشتق یکم سیگنال به پویایی سیگنال $FF = \frac{\sigma_{\dot{s}} / \sigma_s}{\sigma_{\ddot{s}} / \sigma_s}$ |
| همبستگی بین سیگنال‌های دو کانال | $\sigma_{s_i, s_j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s_i[n] - \bar{s}_i)(s_j[n] - \bar{s}_j)$ |

معرفی چند ویژگی معروف در پردازش سیگنال‌های EEG



14

□ ویژگی‌های حوزه‌ی فرکانس

□ قابل محاسبه برای هر یک از کانال‌های سیگنال EEG ثبت شده

| نام ویژگی | تعریف |
|-----------------------------|--|
| فرکانس بیشینه ^۴ | فرکانسی که بیشترین فراوانی را در طیف توان داشته باشد. |
| فرکانس میانگین | $f_{mean} = \frac{\int_0^{\infty} w \cdot S(w) dw}{\int_0^{\infty} S(w) dw}$ <p>میانگین وزنی فرکانس‌های موجود در چگالی طیف توان</p> |
| فرکانس میانه ^۵ | $\int_0^{f_{mod}} S(w) dw = \int_{f_{mod}}^{\infty} S(w) dw$ <p>میانه‌ی وزنی فرکانس‌های موجود در طیف توان</p> |
| انرژی نسبی باندهای طیف توان | <p>توزیع فرکانسی سیگنال در ۷ باند فرکانسی معرفی شده در جدول (۴)</p> $power - spectral - ratio = \frac{\sum_{k=1}^N [S_i[k]]^2}{\sum_{i=1}^7 \left[\sum_{k=1}^N [S_i[k]]^2 \right]}$ <p>$S_i[k]$ بیانگر نمونه k-ام DFT سیگنال در باند فرکانسی i-ام است.</p> |

معرفی چند ویژگی معروف در پردازش سیگنال‌های EEG



15

□ ویژگی‌های حوزه‌ی فرکانس

□ قابل محاسبه برای هر یک از کانال‌های سیگنال EEG ثبت شده

| نام باند فرکانسی | فرکانس مرکزی | پهنای باند ۳ دسی‌بل |
|------------------|--------------|---------------------|
| تتا و دلتا | ۵ هرتز | ۲-۸ هرتز |
| آلفا | ۱۲ هرتز | ۹-۱۵ هرتز |
| بتا ۱ | ۱۹ هرتز | ۱۶-۲۲ هرتز |
| بتا ۲ | ۲۶ هرتز | ۲۳-۲۹ هرتز |
| گاما ۱ | ۳۳ هرتز | ۳۰-۳۶ هرتز |
| گاما ۲ | ۴۰ هرتز | ۳۷-۴۳ هرتز |
| گاما ۳ | ۴۷ هرتز | ۴۴-۵۰ هرتز |

انتخاب ویژگی‌های مؤثر



16

□ معیار انتخاب ویژگی فشر (معیار بر مبنای ماتریس پخشی) (یک بعدی)

□ معیار فشر را برای هر ویژگی (در هر کانال) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

□ μ_0 ، μ_1 و μ_2 به ترتیب میانگین کل داده‌ها، میانگین کلاس 0 و میانگین کلاس 1 هستند.

□ σ_1^2 و σ_2^2 به ترتیب واریانس کلاس 0 و واریانس کلاس 1 هستند.

□ هرچه این کسر برای یک ویژگی مقدار بزرگ‌تری داشته باشد، نشان‌دهنده این است که آن ویژگی بهتر توانسته دو کلاس را از هم جدا کند.

□ با استفاده از این معیار می‌توان تا حدودی ویژگی‌های مؤثر را انتخاب کرد.

انتخاب ویژگی‌های مؤثر



17

□ معیار انتخاب ویژگی بر مبنای ماتریس پخشی (چند بعدی)

□ یک بردار ویژگی شامل P ویژگی داریم. می‌خواهیم بررسی کنیم آیا این دسته ویژگی، مناسب است یا خیر. برچسب هر آزمایش را نیز داریم.

□ ماتریس پخشی درون کلاسی:

$$S_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{i \in C_1} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_1)(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_1)^T$$

$$S_W = S_1 + S_2$$

$$S_2 = \frac{1}{N_2} \sum_{i \in C_2} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_2)(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_2)^T$$

□ ماتریس پخشی میان کلاسی:

$$S_b = \sum_{i=1}^2 (\mu_i - \mu_0)(\mu_i - \mu_0)^T$$

□ معیار تعریف شده:

$$J = \frac{\text{trace}(S_b)}{\text{trace}(S_W)}$$

□ هر چه این معیارها بزرگتر باشند نشان می‌دهد که دسته ویژگی مورد بررسی مناسب‌تر است.

انتخاب ویژگی‌های مؤثر



18

□ k-fold cross-validation

□ می‌توان برای تعیین میزان خوب بودن یک دسته ویژگی (و طبقه‌بندی‌کننده استفاده شده)، از k-fold cross-validation استفاده کرد.

□ در این نوع اعتبارسنجی، داده‌های آموزشی به k زیرمجموعه افراز می‌شوند. از این k زیرمجموعه، هر بار یکی برای اعتبارسنجی و $(k-1)$ تای دیگر برای آموزش به کار می‌روند. به این صورت که $(k-1)$ زیرمجموعه برای آموزش طبقه‌بندی‌کننده استفاده شده و سپس از زیرمجموعه k -ام به عنوان داده ارزیابی استفاده می‌کنیم و خطا را بر روی این دسته حساب می‌کنیم.

□ این روال k بار تکرار می‌شود و هر داده‌ای دقیقاً $(k-1)$ بار برای آموزش و یک‌بار برای اعتبارسنجی به کار می‌رود. در نهایت میانگین نتیجه این k بار اعتبارسنجی به عنوان یک تخمین نهایی برگزیده می‌شود.

انتخاب ویژگی‌های مؤثر



19

□ k-fold cross-validation

□ برای اینکه تعیین کنیم یک دسته ویژگی انتخاب شده مناسب است یا خیر، میانگین خطای k-fold cross-validation را برای این دسته ویژگی حساب می‌کنیم.

□ در صورتی که پاسخ مناسب بود (خطا کم بود یا به طور معادل صحت طبقه‌بندی زیاد بود)، نتیجه می‌گیریم دسته ویژگی انتخاب شده مناسب بوده و می‌توان از آن برای آموزش طبقه‌بندی‌کننده استفاده کرده و برچسب داده‌های آزمون را با استفاده از این ویژگی‌ها تعیین کرد.

صورت مسئله به صورت کامل (فاز ۱)



20

- الف) تعدادی ویژگی (از بین ویژگی‌های معرفی شده یا هر ویژگی دیگری که می‌شناسید) برای کانال‌های مختلف داده‌های آموزشی حساب کنید. ماتریس ویژگی‌ها را نرمالیزه کنید.
- ب) با استفاده از معیار مبتنی بر ماتریس پخشی یا هر معیار دیگری که می‌شناسید، ویژگی‌های برتر را انتخاب کنید. برای این کار می‌توانید دسته ویژگی‌های آماری و حوزه فرکانس را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار دهید و در هر دسته بهترین‌ها را انتخاب کنید.
- ج) یک شبکه MLP طراحی کنید و با استفاده از دسته ویژگی‌های مختلف، آن را آموزش دهید و میانگین صحت طبقه‌بندی کننده را با استفاده از روش 5-fold cross-validation محاسبه کنید. با تغییر تعداد لایه‌ها، تعداد نورون‌ها در هر لایه، تابع فعال‌سازی نورون‌ها و تغییر دسته ویژگی‌های انتخاب شده سعی کنید بهترین شبکه MLP را که می‌توانید طراحی کنید.

صورت مسئله به صورت کامل (فاز ۱)



21

□ (د) قسمت (ج) را برای شبکه RBF انجام دهید.

□ (ه) یک گزارش جامع (اما مختصر) تهیه کنید و در مورد نتایج هر بخش به اختصار توضیح دهید. در این گزارش بهترین شبکه طراحی شده در قسمت (ج) و (د) را ارائه دهید و بهترین ویژگی‌های انتخاب شده را نیز معرفی کنید. همچنین نتایج قسمت (ج) و (د) را با یکدیگر مقایسه کنید.

□ (و) بهترین شبکه‌های MLP و RBF به دست آمده را بر داده‌های آزمون اعمال کرده و برچسب‌های متناظر را تعیین کنید.

صورت مسئله به صورت کامل (فاز ۲)



22

- برای انتخاب دسته ویژگی‌های مؤثر از بین ویژگی‌های استخراج شده از الگوریتم‌های تکاملی/الگوریتم‌های هوش ازدحامی استفاده کنید.
- می‌توانید از الگوریتم‌های معرفی شده در درس استفاده کنید یا اینکه الگوریتم‌های دیگری را امتحان کنید.
- برای تعریف تابع سازگاری مناسب می‌توانید از تعریف معیار مبتنی بر ماتریس‌های پخشی (در بعد بیشتر از ۱)، صحت طبقه‌بندی یا هر معیار مناسب دیگری استفاده کنید.
- طبقه‌بندی کننده‌های MLP و RBF را با استفاده از دسته ویژگی‌های انتخاب شده آموزش دهید.
- بهترین شبکه‌های MLP و RBF به دست آمده را بر داده‌های آزمون اعمال کرده و برچسب‌های متناظر را تعیین کنید.

تاریخ‌های مهم



23

- تاریخ آپلود کدها، گزارش مختصر و نتایج: ۱۵ بهمن ۱۴۰۰
- توجه: برچسب‌های به‌دست‌آمده برای داده‌های آزمون حتماً آپلود شوند.
- تاریخ ارائه شفاهی: ۱۶ و ۱۷ بهمن ۱۴۰۰

