

به نام خدا



دانشگاه تهران



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

درس شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق

تمرین اول

امیر احمد دوانلو	نام دستیار طراح	پرسش‌های ۱ و ۲
amir.davanloo@gmail.com	رایانامه	
محمدرضا فضلی	نام دستیار طراح	پرسش‌های ۳ و ۴
fazli.m9929@gmail.com	رایانامه	
۱۴۰۱.۱۲.۲۲	مهلت ارسال پاسخ	

فهرست

قوانین.....	۲
پرسش ۱. شبکه عصبی Mcculloch-Pitts.....	۱
۱-۱. ماشین متناهی قطعی (DFA).....	۱
الف).....	۳
ب).....	۳
ج).....	۳
د).....	۳
پرسش ۲ - شبکه‌های AdaLine و MadaLine.....	۴
۱-۲. AdaLine.....	۴
الف).....	۴
ب).....	۴
ج).....	۴
د).....	۵
۱-۲. MadaLine.....	۶
الف).....	۶
ب).....	۶
ج).....	۶
د).....	۶
پرسش ۳ - Auto-Encoders for classification.....	۷
۱-۳. آشنایی و کار با دیتاست (پیش‌پردازش).....	۷
۲-۳. شبکه Auto-Encoder.....	۸
۳-۳. طبقه بندی.....	۹

پرسش ۴ – Multi-Layer Perceptron ۱۰

۴-۱. آشنایی و کار با دیتاست (پیش پردازش) ۱۰

۴-۲. Multi-Layer Perceptron ۱۱

شکل‌ها

- شکل ۱. نمودار حالت ماشین متناهی قطعی ۱
- شکل ۲. نمونه نمودار پراکندگی دو دسته داده تعریف شده Adaline ۵
- شکل ۳. نمونه نمودار پراکندگی دو دسته داده تعریف شده Madaline ۶
- شکل ۴. نمودار تعداد داده‌ها به ازای هر گروه برای تست ۷

جدول‌ها

جدول ۱. جدول انتقال حالت ماشین متناهی قطعی ۲

جدول ۲. معماری کد کننده ۸

قبل از پاسخ دادن به پرسش‌ها، موارد زیر را با دقت مطالعه نمایید:

- از پاسخ‌های خود یک گزارش در قالبی که در صفحه‌ی درس در سامانه‌ی Elearn با نام **REPORTS_TEMPLATE.docx** قرار داده شده تهیه نمایید.
- پیشنهاد می‌شود تمرین‌ها را در قالب گروه‌های دو نفره انجام دهید. (بیش از دو نفر مجاز نیست و تحویل تک نفره نیز نمره‌ی اضافی ندارد) توجه نمایید الزامی در یکسان ماندن اعضای گروه تا انتهای ترم وجود ندارد. (یعنی، می‌توانید تمرین اول را با شخص A و تمرین دوم را با شخص B و ... انجام دهید)
- کیفیت گزارش شما در فرآیند تصحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین، لطفا تمامی نکات و فرض‌هایی را که در پیاده‌سازی‌ها و محاسبات خود در نظر می‌گیرید در گزارش ذکر کنید.
- در گزارش خود مطابق با آنچه در قالب نمونه قرار داده شده، برای شکل‌ها زیرنویس و برای جدول‌ها بالانویس در نظر بگیرید.
- الزامی به ارائه توضیح جزئیات کد در گزارش نیست، اما باید نتایج بدست آمده از آن را گزارش و تحلیل کنید.
- تحلیل نتایج الزامی می‌باشد، حتی اگر در صورت پرسش اشاره‌ای به آن نشده باشد.
- دستیاران آموزشی ملزم به اجرا کردن کدهای شما نیستند؛ بنابراین، هرگونه نتیجه و یا تحلیلی که در صورت پرسش از شما خواسته شده را به طور واضح و کامل در گزارش بیاورید. در صورت عدم رعایت این مورد، بدیهی است که از نمره تمرین کسر می‌شود.
- کدها حتما باید در قالب نوت‌بوک با پسوند **ipynb** تهیه شوند، در پایان کار، تمامی کد اجرا شود و خروجی هر سلول حتما در این فایل ارسالی شما ذخیره شده باشد. بنابراین برای مثال اگر خروجی سلولی یک نمودار است که در گزارش آورده‌اید، این نمودار باید هم در گزارش هم در نوت‌بوک کدها وجود داشته باشد.
- در صورت مشاهده تقلب امتیاز تمامی افراد شرکت‌کننده در آن، ۱۰۰- لحاظ می‌شود.
- تنها زبان برنامه نویسی مجاز **Python** است.
- استفاده از کدهای آماده برای تمرین‌ها به هیچ وجه مجاز نیست.
- نحوه محاسبه تاخیر به این شکل است: پس از پایان رسیدن مهلت ارسال گزارش، حداکثر تا یک هفته امکان ارسال با تاخیر (به ازای هر روز ۵ درصد کسر نمره) وجود دارد، پس از این یک هفته نمره آن تکلیف برای شما صفر خواهد شد.

- لطفا گزارش، کدها و سایر ضمایم را به در یک پوشه با نام زیر قرار داده و آن را فشرده سازید، سپس در سامانه‌ی Elearn بارگذاری نمایید:

HW[Number]_[Lastname]_[StudentNumber]_[Lastname]_[StudentNumber].zip

(مثال: HW1_Ahmadi_810199101_Bagheri_810199102.zip)

- برای گروه‌های دو نفره، بارگذاری تمرین از جانب یکی از اعضا کافی است ولی پیشنهاد می‌شود هر دو نفر بارگذاری نمایند.

پرسش ۱. شبکه عصبی Mcculloch-Pitts

در این پرسش ابتدا با ماشین متناهی قطعی آشنا خواهید شد، سپس با پاسخ دادن به چند پرسش، شبکه‌ای عصبی برای آن طراحی خواهید کرد.

۱-۱. ماشین متناهی قطعی (DFA)

در بیانی ساده می‌توان ماشین متناهی قطعی^۱ را جعبه سیاهی^۲ فرض کرد که ورودی دریافت می‌کند و اگر متوجه الگویی خاص در ورودی‌ها شود آن را در خروجی اعلام می‌کند. برای این کار از مجموعه‌ای از حالت‌ها^۳ استفاده می‌کند تا الگوهای مشاهده شده را بتواند ذخیره کند.

یک ماشین متناهی قطعی به این شکل فرض کنید که در الفبای $\{0,1\}$ بتواند با مشاهده حداقل یک بار ۱۰۰، پذیرش را انجام دهد. (بعد از مشاهده اولین ۱۰۰ در حالت پذیرش باقی بماند).

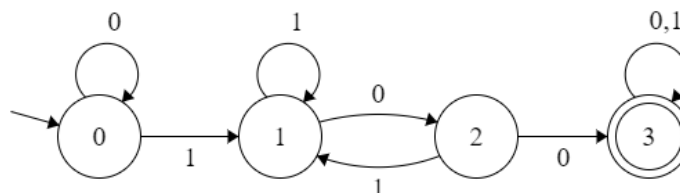
نمودار حالت‌های ماشین متناهی قطعی را به صورت شکل ۱ نمایش می‌دهند.

شماره داخل دایره، شماره حالت است.

اعداد روی یال، ورودی‌ای است که حالت کنونی توسط آن به حالت بعدی می‌رود.

از حالت شماره صفر شروع می‌شود.

اگر ورودی‌ها تمام شوند و در حالتی باشیم که حالت دو خط دارد (حالت سه)، ورودی مورد نظر توسط دستگاه تشخیص داده شده است. (پذیرفته شده است).



شکل ۱. نمودار حالت ماشین متناهی قطعی

^۱ DFA (Deterministic finite automaton)

^۲ Black Box

^۳ State

مثلا ورودی ۰۱۱۰۰۱ را در نظر بگیرید.

ابتدا در حالت صفر با ورودی صفر (۰۱۱۰۰۱) مجدد به حالت صفر می‌رویم.

سپس در حالت صفر با ورودی بعدی یک (۰۱۱۰۰۱) به حالت یک می‌رویم.

حال در حالت یک با ورودی یک (۰۱۱۰۰۱) مجدد به حالت یک برمی‌گردیم.

در حالت یک با ورودی صفر (۰۱۱۰۰۱) به حالت دوم می‌رویم.

در حالت دو با ورودی صفر (۰۱۱۰۰۱) به حالت سوم می‌رویم.

در حالت سه با ورودی یک (۰۱۱۰۰۱) به حالت سوم بازمی‌گردیم و چون ورودی‌ها تمام شده‌اند

و در حالت سه مانده‌ایم پس رشته ورودی پذیرفته شده و الگو توسط ماشین متناهی قطعی شناسایی شده است.

حال می‌توان جدول انتقال حالت‌های ممکن آن را به شکل زیر رسم کرد.

جدول ۱. جدول انتقال حالت ماشین متناهی قطعی

پذیرفتن	حالت بعدی	ورودی	حالت کنونی
۰	۰	۰	۰
۰	۱	۱	۰
۰	۲	۰	۱
۰	۱	۱	۱
۱	۳	۰	۲
۰	۱	۱	۲
۱	۳	۰	۳
۱	۳	۱	۳

به کمک نرون Mcculloch-Pitts توسعه یافته، DFA بیان شده را شبیه سازی نمایید به این صورت که حالت فعلی^۱ و ورودی DFA، هر دو به عنوان ورودی شبکه نرونی و حالت بعدی^۲ و اینکه حالت پذیرش

^۱ Current state

^۲ Next state

شده یا نشده (پذیرش ۱ و عدم پذیرش ۰) به عنوان خروجی شبکه نوروئی محسوب شوند. (سه نوروئی ورودی و سه نوروئی خروجی)

توجه کنید که شماره حالت‌ها، ورودی و پذیرش شدن یا نشدن حالت‌ها همگی دودویی (باینری) هستند. همچنین ترتیب زمانی انجام عملیات در این سوال مهم نیست. بنابراین نیازی به در نظر گرفتن تاخیر برای انجام عملیات نیست.

الف) جدول انتقال حالت DFA را به جدول حالت توضیح داده شده متناسب با شبکه نوروئی‌ها تبدیل کنید. (۱۰ نمره)

ب) شبکه هر خروجی را به صورت جداگانه، به همراه توضیحات مختصری، رسم نمایید. (۳۰ نمره)

برای این بخش دقت داشته باشید:

- نیازی به کد نویسی در این بخش نیست.
- حتماً سه شبکه جدا از هم رسم شود.
- شبکه‌ای که برای هر خروجی رسم می‌کنید تا حد ممکن دارای کم‌ترین تعداد نوروئی و کم‌ترین threshold باشد.
- تعداد نوروئی کم‌تر دارای اهمیت بالاتری نسبت به threshold کم‌تر است.
- Threshold ها اعداد صحیح باشند.
- تمام شبکه برای یک خروجی دارای threshold یکسان باشد.

ج) سه شبکه رسم شده در بخش قبلی را به صورت بهینه (با کم‌ترین نوروئی و threshold) و با threshold یکسان ادغام کرده و رسم نمایید. (۱۰ نمره)

د) با استفاده از زبان پایتون شبکه‌های طراحی شده در بخش (د) را پیاده‌سازی کرده و خروجی تمامی حالت‌ها به ازای تمامی ورودی‌ها را نمایش دهید. (۵۰ نمره)

پرسش ۲ - شبکه‌های AdaLine و MadaLine

در این پرسش با شبکه‌های AdaLine و MadaLine آشنا خواهید شد.

۲-۱. AdaLine

فرض کنید داده‌های ما در دو بعد، به صورت زیر تعریف شده‌اند. (x, y)

• x : متغیر تصادفی نرمال با میانگین m_x و انحراف معیار σ_x

• y : متغیر تصادفی نرمال با میانگین m_y و انحراف معیار σ_y

الف) دو دسته داده به صورت زیر تعریف کنید و نمودار پراکندگی آن‌ها را رسم نمایید. (نتیجه باید شبیه به شکل ۲ باشد). (۵ نمره)

دسته اول: شامل ۱۰۰ داده است، که متغیر x آن دارای میانگین ۰ و انحراف معیار ۰.۱ و متغیر y آن هم دارای میانگین ۰ و انحراف معیار ۰.۴ است.

دسته دوم: شامل ۱۰۰ داده است، که متغیر x آن دارای میانگین ۱ و انحراف معیار ۰.۲ و متغیر y آن هم دارای میانگین ۱ و انحراف معیار ۰.۲ است.

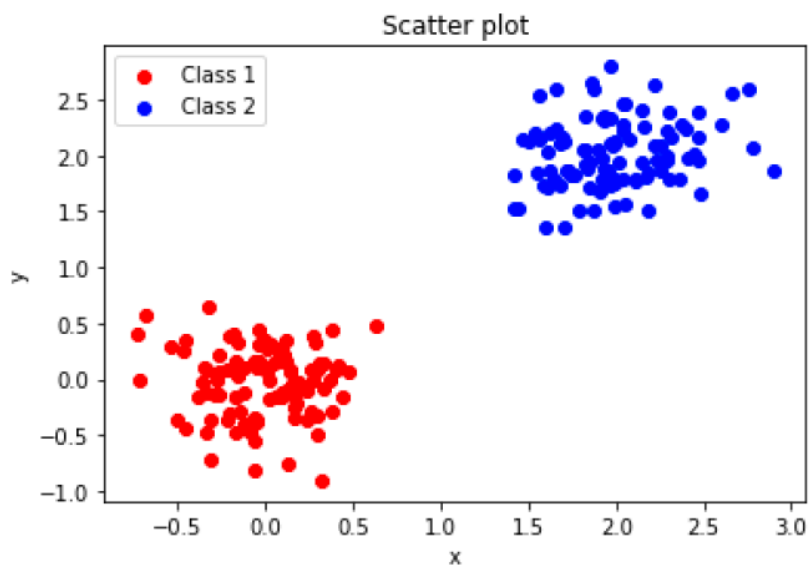
ب) با استفاده از روش Adaline یک شبکه عصبی را آموزش دهید که این دو دسته داده را از هم جدا نماید. نمودار تغییرات خطا یعنی $(t - net)^2$ را رسم نمایید. دلیل خوب یا بد جدا شدن داده‌ها را توجیه نمایید. (۳۰ نمره)

ج) فرض کنید تعداد داده‌ها به صورت زیر تغییر نماید. قسمت (ب) را برای این داده‌های جدید تکرار نمایید. (۵ نمره)

دسته اول: شامل ۱۰۰ داده است، که متغیر x آن دارای میانگین ۰ و انحراف معیار ۰.۴ و متغیر y آن هم دارای میانگین ۰ و انحراف معیار ۰.۴ است.

دسته دوم: شامل ۱۰۰ داده است، که متغیر x آن دارای میانگین ۱ و انحراف معیار ۰.۳ و متغیر y آن هم دارای میانگین ۱ و انحراف معیار ۰.۳ است.

(د) نتایج به دست آمده برای بخش (ج) را با نتیجه به دست آمده از بخش (ب) مقایسه کنید. (۵ نمره)



شکل ۲. نمونه نمودار پراکندگی دو دسته داده تعریف شده Adaline

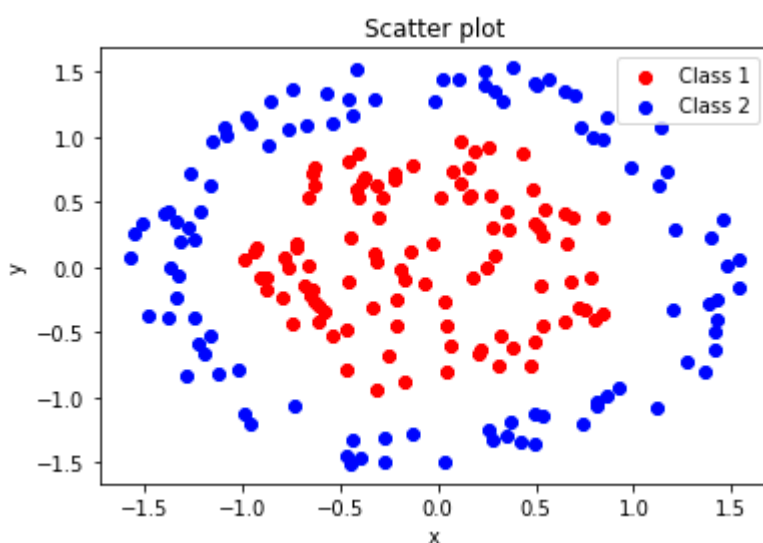
۲-۱. MadaLine

الف) در ابتدا به دلخواه یکی از الگوریتم های MRI یا MRII را که در کتاب مرجع موجود است، توضیح مختصری دهید. (۵ نمره)

ب) با استفاده از کتابخانه های آماده مانند Pandas، ابتدا مجموعه داده ای که مربوط به این سوال است (MadaLine.csv) را بارگزاری نمایید و نمودار پراکندگی آن ها را رسم نمایید. (نتیجه باید چیزی شبیه شکل ۳ باشد). (۵ نمره)

ج) حال با استفاده از الگوریتمی که در قسمت الف) مطالعه نمودید، شبکه ای بر اساس آن الگوریتم آموزش دهید. سپس سه مرتبه هر بار با تعداد نورون های متفاوت (یک بار ۳ نورون، یک بار با ۴ نورون و یک بار با ۱۰ نورون) نقاط را از هم جدا کنید. در هر مرتبه جداسازی تعداد ایپاک های انجام شده و دقت جداسازی را نمایش دهید. (۴۰ نمره)

د) هر سه نمودار حاصل شده، دقت و تعداد ایپاک های هر سه حالت را با هم مقایسه و تحلیل نمایید. (۵ نمره)



شکل ۳. نمونه نمودار پراکندگی دو دسته داده تعریف شده Madaline

پرسش ۳ – Auto-Encoders for classification

در این سوال میخواهیم با استفاده از یک Auto-Encoder به حل یک مساله کلاس‌بندی بپردازیم. برای آشنایی بیشتر با Auto-Encoder ها ابتدا مقاله [پیوست](#) را مطالعه کنید. هدف از این تمرین آشنایی با کتابخانه های TensorFlow/Keras یا PyTorch و کار با دیتاست MNIST است.

۳-۱. آشنایی و کار با دیتاست (پیش‌پردازش)

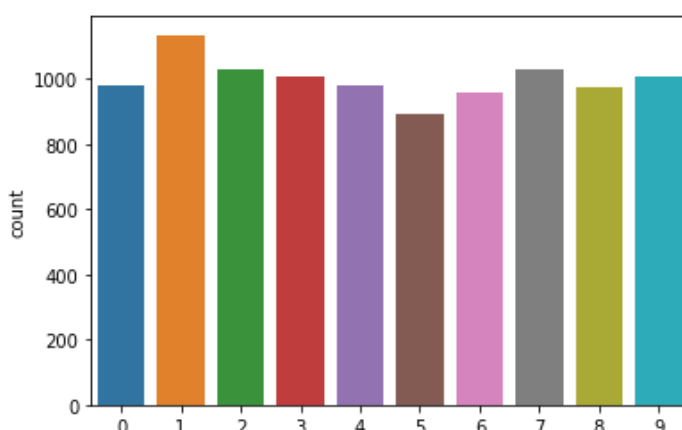
(۲۰ نمره)

در این قسمت هدف آشنایی و کارکردن با دیتاست است. با استفاده از ۲ خط کد زیر می‌توان این کتابخانه را برای هر حالت فراخوانی کرد.

```
torchvision.datasets.MNIST (...)
```

```
(train_images, train_labels), (test_images, test_labels) = mnist.load_data()
```

سپس با استفاده از label داده‌های train نمودار تعداد را برحسب گروه رسم کنید. در شکل ۴ **Error!** **Reference source not found.** این نمودار برای داده های تست انجام شده است. همین نمودار را برای داده های train بکشید.



شکل ۴. نمودار تعداد داده ها به ازای هر گروه برای تست

۵ داده را به صورت رندم رسم کنید و خروجی آن را ببینید. سپس داده‌ها را نرمالیزه کرده و برای استفاده در مرحله بعد ویژگی‌ها را همان پیکسل‌ها در نظر بگیرید. (هر تصویر ۷۸۴ ویژگی)

۲-۳. شبکه Auto-Encoder

(۴۰ نمره)

در این قسمت شبکه را طراحی میکنید. برای این کار شبکه باید ۲ قسمت داشته باشد.

۱. Encoder

۲. Decoder

برای نوشتن کد این دو قسمت را به صورت جدول ۲ طراحی کنید.

جدول ۲. معماری کد کننده

معماری	
Input: 784 FC: 500 FC: Optional FC: 100 Output: 30	Encoder
Input: 30 FC: 100 FC: Optional FC: 500 Output: 784	Decoder

سپس مدل را آموزش دهید. نمودار loss و validation loss را رسم کنید. (خطا را تنها در لایه آخر در نظر بگیرید و نیاز به محاسبه خطای هر لایه نیست).

۳-۳. طبقه بندی

(۴۰ نمره)

در این قسمت با استفاده از فضای ویژگی ۳۰ بعدی یک طبقه بند ساده با دو لایه مخفی قرار دهید. برای این کار بعد از آموزش Auto-Encoder قسمت Encoder را جدا کنید و از خروجی‌های آن برای آموزش شبکه استفاده کنید. نمودارهای Accuracy، Validation Accuracy، Loss و Validation Loss را برای طبقه بند رسم کنید. پس از اتمام آموزش دقت را روی داده های تست گزارش کنید. نمودار confusion matrix را نیز رسم کرده و توضیح دهید.

پرسش ۴ – Multi-Layer Perceptron

در این سوال یک دیتاست برای پیشبینی قیمت در اختیار شما گذاشته شده است. ابتدا با دیتا ها کار کرده و با Feature Engineering آشنا خواهید شد و سپس با استفاده از چند MLP قیمت را پیشبینی کرده و مقایسه خواهید کرد.

هدف از این سوال آشنایی با MLP و کتابخانه های TensorFlow/Keras یا PyTorch میباشد.

۴-۱. آشنایی و کار با دیتاست (پیش پردازش)

(۴۰ نمره)

هدف از این قسمت آشنا شدن با فراخوانی داده ها و پیش پردازش آنها میباشد. برای این کار باید به ترتیب کار های زیر را انجام دهید:

- I. فایل csv مربوط به سوال را خوانده و سپس تابع info. را از Pandas فراخوانی کنید.
- II. تعداد داده هایی که Nan هستند را برحسب هر ستون نمایش دهید.
- III. از ستون CarName نام شرکت را جدا کرده و به نام CompanyName ذخیره کنید. سپس ستون های CarName، car_ID و symboling را حذف کنید. تعدادی از نام های شرکت ها اشتباه تایپ شده است. آنها را پیدا کرده و اصلاح کنید.
- IV. داده های توصیفی را به داده های عددی تبدیل کنید (راهنمایی: مثلا نوع سوخت میتواند گازی یا دیزلی باشد و میتواند ۰ و ۱ شود. میتوانید برای اینکار از pd.get_dummies استفاده کنید).
- V. Correlation Matrix را رسم کنید. چه فیچری با قیمت Correlation بیشتری دارد؟
- VI. نمودار توزیع قیمت و نمودار قیمت برحسب فیچری که بیشترین Correlation با قیمت دارد را رسم کنید.
- VII. داده ها را به train/test تقسیم کنید. (15% : 85%)
- VIII. به کمک MinMaxScaler داده های train و test را scale کنید. (توجه داشته باشید از داده های test نباید برای scale کردن داده استفاده کنید چون در این صورت leakage data رخ می دهد).

۴-۲. Multi-Layer Perceptron

(۶۰ نمره)

در این قسمت می‌خواهیم تاثیر تغییر برخی پارامترها روی شبکه را ببینیم. در این حالت نیز به ترتیب کارهای زیر را انجام دهید:

- I. ابتدا ۳ مدل MLP ساده به ترتیب با ۱، ۲ و ۳ لایه پنهان بسازید.
- II. دو Optimizer و Loss Function مختلف را بررسی کنید.
- III. با یکی از آنها هر ۳ مدل را آموزش داده و نمودار loss و loss validation را رسم کنید. معیار R^2 score را توضیح داده و سپس به کمک این معیار بهترین شبکه را انتخاب کنید.
- IV. سپس برای بهترین شبکه سه حالت باقی‌مانده (دو Optimizer و Loss Function) را بررسی کنید.
- V. پنج داده را به تصادفی از test set انتخاب کرده و قیمت را پیشبینی کنید. سپس مشخص کنید چقدر این پیشبینی شما با قیمت واقعی تفاوت دارد.