به نام خدا

دانشکده مهندسی کامپیوتر

مبانی و کاربردهای هوش مصنوعی ترم پاییز ۱۴۰۱

پروژه دوم

مهلت تحویل ۲ دی ۱۴۰۱

مقدمه

در این پروژه عاملی را برای بازی کلاسیک پکمن طراحی خواهید کرد که این بار شامل روح ها نیز می باشد. در این مسیر از جستجوی مینیماکس[1] و مینیماکس احتمالی[2] استفاده خواهید کرد و تابع ارزیابی[3] طراحی می کنید.

ساختار پروژه دوم نسبت به پروژه قبل تغییر چندانی نداشته است اما توصیه می کنیم به جای تغییر در کد های پروژه ی قبل، پروژه جدیدی را بارگیری کرده و شروع کنید.

مشابه با پروژه قبل برای دیباگ و تست درستی الگوریتم‌های خود میتوانید دستور زیر را اجرا کنید:

```
python autograder.py
```

برای استفاده از `autograder.py` تنها برای یک سوال به صورت انحصاری می توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q2
```

[1] Minimax
[2] Expectiminimax
[3] Evaluation Function

به صورت پیش فرض اجرای `autograder.py` با گزینه ی `t-` شامل نمایش گرافیکی خواهد بود اما گزینه `q-` بدون نمایش گرافیکی است. برای اجبار به اجرای گرافیکی می توانید از فلگ `graphics--` و برای اجبار به عدم نمایش گرافیکی از `no-graphics--` استفاده کنید.

ساختار پروژه بصورت زیر است و کلیه فایل‌های مورد نیاز در فایل زیپ موجود در سامانه کورسز خواهد بود:

فایل‌هایی که باید ویرایش کنید:	
multiAgents.py	شامل تمامی عامل های جستجوی چند عاملی می باشد.
فایل‌هایی که شاید بخواهید آن‌ها را ببینید:	
pacman.py	فایل اصلی که بازی‌های پکمن را اجرا می‌کند. این فایل کلاس GameState را برای بازی پکمن توصیف می‌کند که در این پروژه از آن استفاده می‌کنید.
game.py	منطق پیاده شده برای دنیای پکمن در این فایل قرار دارد.این فایل شامل چندین کلاس مانند AgentState(وضعیت عامل)، Agent(عامل)، Grid(نقشه بازی) و Direction(جهت) می‌شود.
util.py	ساختمان داده‌های مفید برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های جستجو در این فایل قرار دارند. در این پروژه از این ساختمان های داده استفاده نخواهید کرد اما ممکن است توابع تعریف شده در آن به کارتان آیند.
فایل‌هایی که می‌توانید آن‌ها را رد کنید:	
graphicsDisplay.py	گرافیک‌های پیاده‌سازی شده برای بازی پکمن
graphicsUtils.py	پشتیبانی برای گرافیک بازی
textDisplay.py	گرافیک ASCII برای پکمن
ghostAgents.py	عامل‌های کنترل‌کننده ارواح
keyboardAgents.py	رابط صفحه‌کلید برای کنترل پکمن

layout.py	برنامه برای خواندن فایل‌های نقشه و ذخیره اطلاعات آن‌ها
autograder.py	تصحیح‌کننده خودکار پروژه
testParser.py	Parse کردن تست های مصحح خودکار و فایل‌های راه‌حل
testClasses.py	کلاس‌های کلی تست خودکار
test_cases/	پوشه دربردارنده تست‌های مختلف برای هر سوال
searchTestClasses.py	کلاس‌های تست خودکار پروژه دوم

آنچه باید انجام دهید:

شما باید بخش هایی از فایل `multiAgents.py` را تغییر دهید.

لطفا سایر بخش های پروژه را به هیچ عنوان تغییر ندهید.

به پکمن چند عاملی خوش آمدید!

پس از بارگیری کد پروژه از سامانه کورسز و خارج کردن آن از حالت فشرده مشابه با پروژه قبل می توانید با تایپ کردن فرمان‌های زیر بازی را اجرا کنید:

```
python pacman.py
```

حال `ReflexAgent` از فایل `multiAgents.py` را به عنوان عامل بازی انتخاب کنید:

```
python pacman.py -p ReflexAgent
```

مشاهده خواهید کرد که عامل به خوبی بازی نمی کند. حتی در زمین های ساده:

```
python pacman.py -p ReflexAgent -l testClassic
```

کد `ReflexAgent` را در فایل `multiAgents.py` بررسی کنید تا متوجه شوید چگونه کار میکند.

۱) عامل عکس العمل (۴ امتیاز)

در این سوال هدف بهبود عملکرد `ReflexAgent` در `multiAgents.py` است. برای این کار می بایست تابع `evaluationFunction` را به گونه ای تغییر دهید که بر اساس نتایج عمل (action) انجام شده و حالت (state) ثانویه ارزیابی انجام شود و نه حالت حاصل شده به تنهایی. در این راستا متد هایی در ابتدای `evaluationFunction` آورده شده است که اطلاعات مهم مانند موقعیت جدید (`newPos`) پکمن و یا وضعیت غذاها پس از انجام عمل (`newFood`) را از `GameState` استخراج می کند. برای بررسی محتوای اطلاعات فراهم شده می توانید آنها را چاپ کنید. در نهایت `ReflexAgent` باید با در نظر گرفتن موقعیت غذاها و روح‌ها، بهترین انتخاب را انجام دهد و در نقشه `testClassic` همواره برنده شود. برای بررسی این موضوع می‌توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python pacman.py -p ReflexAgent -l testClassic
```

برای امتحان کردن عامل خود در نقشه `mediumClassic` با یک یا دو روح و اجرای بازی با سرعت بالا از دستورات زیر استفاده کنید:

```
python pacman.py --frameTime 0 -p ReflexAgent -k 1
```

```
python pacman.py --frameTime 0 -p ReflexAgent -k 2
```

نکات و راهنمایی ها:

- عامل شما به احتمال زیاد در بازی با دو روح شکست می‌خورد مگر آنکه تابع ارزیابی بسیار قوی طراحی کرده باشید.
- توجه کنید که برای نوشتن یک تابع ارزیابی مناسب به جای استفاده از مقادیر اطلاعات فراهم شده باید از رابطه‌ی بین آن ها مانند فاصله تا غذا، استفاده کنید.
- مهم: برای کسب نمره کامل از این سوال باید از هر چهار پارامتر `newFood` ، `newGhostStates` ، `newPos` و `newScaredTimes` استفاده کنید. در صورت دریافت نمره کامل از `autograder` و عدم استفاده از هر چهار پارامتر مذکور همچنان نمره‌ای به شما تعلق نخواهد گرفت.

سوال: توضیح دهید که از هر کدام از پارامترهای دخیل در تابع ارزیابی چگونه استفاده کرده‌اید و هر کدام چگونه برروی خروجی تاثیر می‌گذارند (تاثیر کدام یک از پارامترها بیشتر است؟).

سوال: چگونه می‌توان پارامترهایی که مقادیرشان در یک راستا نمی‌باشند را با یکدیگر برای تابع ارزیابی ترکیب کرد؟ (مانند فاصله تا غذا و روح که ارزش آن‌ها بر خلاف یکدیگر می‌باشد)

نحوه ارزیابی سوال اول:
عامل شما در نقشه ی `openClassic` ده بار اجرا خواهد شد. اگر عامل هیچ گاه برنده نشود و یا قبل از برنده شدن زمانش تمام شود، صفر امتیاز می گیرید. اگر عامل حداقل ۵ بار برنده شود یک امتیاز و اگر هر ۱۰ بار برنده شود دو امتیاز دریافت می کنید. اگر میانگین امتیاز عامل بیش از ۵۰۰ باشد یک امتیاز بیشتر و اگر بالا ۱۰۰۰ باشد دو امتیاز بیشتر دریافت خواهید کرد. در نتیجه برای دریافت نمره کامل می بایست هر ده بار برنده شده و میانگین امتیازات بالای ۱۰۰۰ باشد. برای ارزیابی می توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q1

python autograder.py -q q1 --no-graphics
```

۲) مینیماکس (۵ امتیاز)

در این سوال باید کلاس `MinimaxAgent` را کامل کنید. عامل شما باید به ازای هر تعداد روح درست عمل کند که برای این کار باید به ازای هر روح یک لایه min و به ازای پکمن تنها یک لایه max در درخت مینیماکس خود داشته باشید.

همچنین درخت مینیماکس شما باید تا عمق دلخواه گسترش یابد و برگ های آن با تابع مناسب ارزیابی شوند. به این منظور کلاس `MinimaxAgent` طوری در نظر گرفته شده است که از `MultiAgentSearchAgent` ارث می‌برد و به این واسطه دو ویژگی `self.depth` و `self.evaluationFunction` را در خود دارد که باید حتما از آنها برای بررسی رسیدن به عمق دلخواه و ارزیابی برگ‌ها در `MinimaxAgent` استفاده کنید. این تابع ارزیابی به طور پیش فرض `scoreEvaluationFunction` است که می‌توانید در همان فایل `multiAgents.py` آن را مشاهده کنید. توجه کنید که نیازی به اعمال تغییر در تابع ارزیابی نیست.

نکات و راهنمایی‌ها:

- با پیاده‌سازی صحیح مینیماکس همچنان عامل بعضی بازی‌ها را می بازد که این امر طبیعی است.
- توجه داشته باشید که تابع `scoreEvaluationFunction` بر خلاف تابع ارزیابی که در سوال اول پیاده‌سازی کردید بر اساس حالت (state) ارزیابی را انجام می دهد و نه عمل (action).
- مقدار مینیماکس برای حالت اولیه در نقشه‌ی `minimaxClassic` به ازای عمق‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر با ۹، ۸، ۷ و ۴۹۲- می باشد. در این نقشه با فرض عمق برابر با ۴، عامل از هر ۱۰۰۰ بازی حدوداً ۶۶۵ بازی را خواهد برد. برای بررسی عملکرد مینیماکس در این نقشه می توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python pacman.py -p MinimaxAgent -l minimaxClassic -a depth=4
```

- پکمن همواره عامل با اندیس صفر می‌باشد و عامل‌ها بر اساس افزایش اندیس باید حرکت کنند، یعنی ابتدا پکمن و سپس روح‌ها.
- این موضوع را در طراحی مینیماکس در نظر داشته باشید که تمام وضعیت‌های بازی باید از جنس `GameStates` باشند چه به صورت ورودی به تابع `getAction` و یا خروجی از `GameState.generateSuccessor`.
- در نقشه‌های بزرگ مانند `openClassic` و `mediumClassic` عامل پکمن مبتنی بر مینیماکس در فرار از مردن خوب عمل می‌کند اما در بردن ضعف دارد. عموماً عامل نمی تواند افقی را

دورتر از خوردن غذاها ببیند به همین خاطر خوردن یا نخوردن آنها اهمیت چندانی ندارد و بارها مشاهده می‌شود که در کنار یک dot می‌چرخد و در مسیر خلاف جهت حرکت می‌کند. این موضوع در سوال پنجم اصلاح خواهد شد.

نحوه ارزیابی سوال دوم:
اجرای صحیح کد شما بستگی به این دارد که آیا تعداد درستی از حالت‌های بازی در درخت پیمایش می‌شود یا خیر. این موضوع وابسته به دفعات فراخوانی `GameState.generateSuccessor` در کد `MinimaxAgent` شما است. فراخوانی بیشتر یا کمتر از حد انتظار منجر به کسر نمره خواهد شد. برای ارزیابی کد خود می توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q2

python autograder.py -q q2 --no-graphics
```

سوال: وقتی پکمن به این نتیجه برسد که مردن آن اجتناب ناپذیر است، تلاش می‌کند تا به منظور جلوگیری از کم شدن امتیاز، زودتر ببازد. این موضوع را می‌توانید با اجرای دستور زیر مشاهده کنید:

```
python pacman.py -p MinimaxAgent -l trappedClassic -a depth=3
```

بررسی کنید چرا پکمن در این حالت به دنبال باخت سریع‌تر است؟

۳) هرس آلفا-بتا (۵ امتیاز)

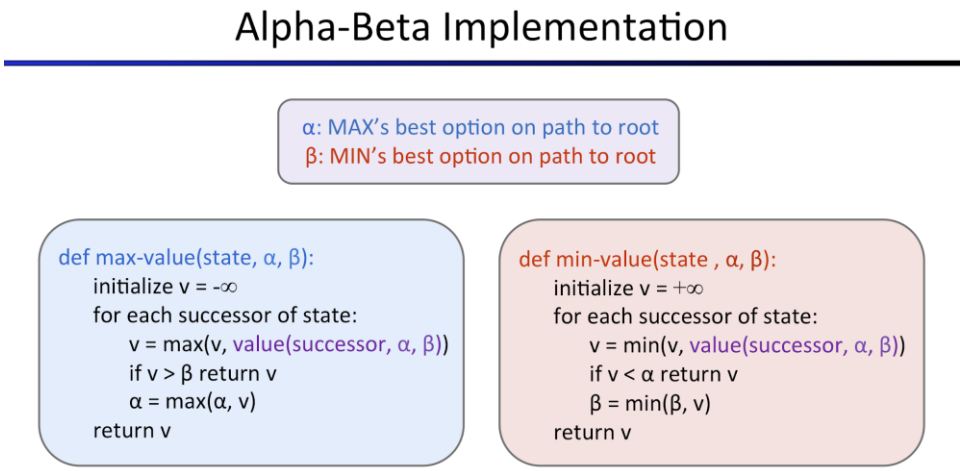
در این سوال باید با اضافه کردن هرس آلفا-بتا، پیمایش درخت مینیماکس را ارتقا دهید. برای این کار کلاس `AlphaBetaAgent` را تکمیل کنید. توجه داشته باشید که همچنان چندین لایه min (به ازای هر روح) و یک لایه max (به ازای پکمن) خواهیم داشت.

در نتیجه‌ی این ارتقا باید شاهد افزایش سرعت الگوریتم باشید. این موضوع را میتوانید با اجرای دستور زیر در عمق ۳ و مقایسه آن با عملکرد عامل `MinimaxAgent` در عمق ۲ مشاهده کنید. انتظار می‌رود هر دو عامل تقریباً در یک زمان به نتیجه برسند.

```
python pacman.py -p AlphaBetaAgent -a depth=3 -l smallClassic
```

نکات و راهنمایی‌ها:

- مقادیر گره‌های درخت مینیماکس در `AlphaBetaAgent` عیناً برابر با مقادیر `MinimaxAgent` می‌باشد چرا که هردو از یک تابع ارزیابی استفاده خواهند کرد. اما مقادیر انتخاب شده، به دلیل شرایط مرزی، ممکن است در هرس آلفا-بتا متفاوت باشد.
- مهم: در شرایط برابری هرس انجام ندهید تا تعداد حالت‌های کاوش شده با انتظار `autograder` همخوانی داشته باشد. پیاده‌سازی شما باید برگرفته از سودو-کد زیر باشد که در حذف حالت برابر، با اسلاید صفحه ۳۱ تدریس شده در کلاس متفاوت است.



نحوه ارزیابی سوال سوم:

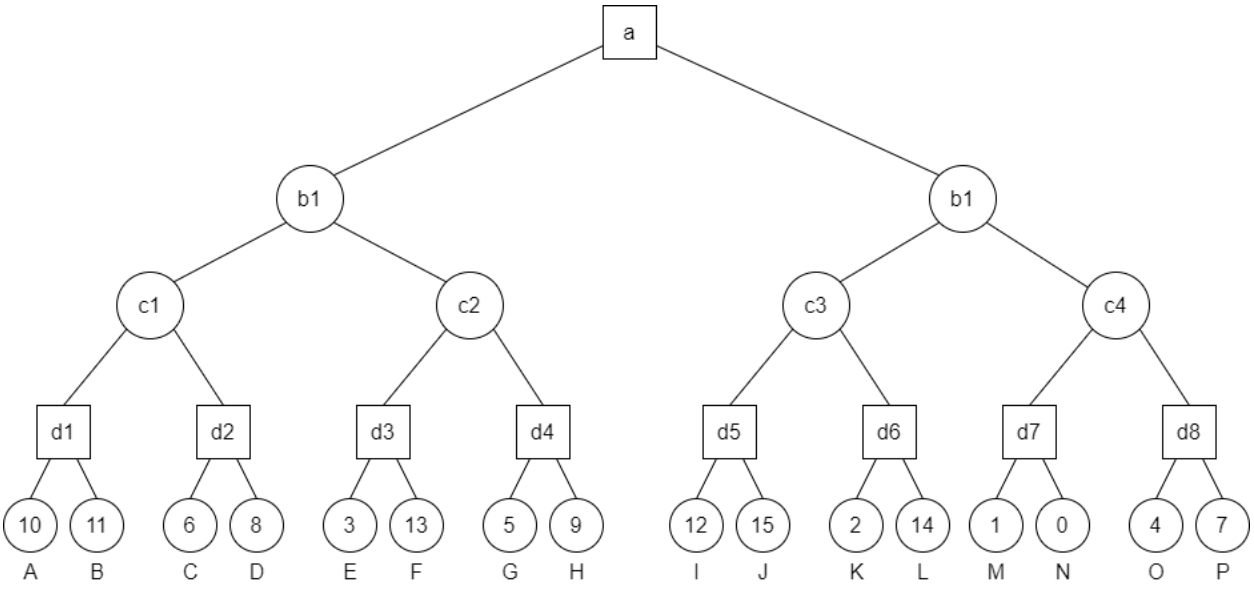
مشابه با سوال دوم، برد و باخت بازی ملاک نمره‌دهی نیست بلکه ارزیابی بر اساس تعداد حالت‌های پیمایش شده در درخت مینیماکس انجام می‌گیرد. مهم است تا هرس آلفا-بتا را بدون تغییر در ترتیب فرزندان هر گره اعمال کنید. به عبارت دیگر باید با همان ترتیبی که action های مجاز را از

`GameState.getLegalActions` بدست می‌آورید `GameState.generateSuccessor` را فراخوانی کنید و تعداد این فراخوانی‌ها نباید بیشتر یا کمتر از آنچه از هرس آلفا-بتا انتظار می‌رود باشد.
برای ارزیابی کد خود می توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q3

python autograder.py -q q3 --no-graphics
```

سوال: فرض کنید درخت زیر یکی از تست‌های داده شده به الگوریتم آلفا-بتا شما است. گره‌های مربوط به پکمن با مربع و گره‌های هر روح با دایره نمایش داده شده است. در وضعیت فعلی پکمن دو حرکت مجاز دارد، یا می‌تواند به سمت راست حرکت کرده و وارد زیر درخت 2b شود و یا به سمت چپ حرکت کرده و وارد زیر درخت 1b شود. الگوریتم آلفا-بتا را تا عمق ۴ روی درخت زیر اجرا کرده و مشخص کنید کدام گره‌ها و به چه دلیل هرس می‌شوند. همچنین مشخص کنید در وضعیت فعلی، حرکت بعدی پکمن باید به سمت راست باشد یا چپ؟



سوال: آیا در حالت کلی هرس آلفا-بتا قادر است که مقداری متفاوت با مقدار به دست آمده بدون هرس را در ریشه درخت تولید کند؟ در گره‌های میانی چطور؟ به طور خلاصه دلیل خودتان را توضیح دهید.

۴) مینیماکس احتمالی (۵ امتیاز)

در مینیماکس و هرس آلفا-بتا فرض می‌شود حریف بهینه‌ترین انتخاب‌ها را انجام می‌دهد در حالیکه در واقعیت این‌گونه نیست و مدل‌سازی احتمالی عاملی که انتخاب‌های غیربهینه دارد، ممکن است با نتیجه‌ی بهتری برای ما همراه باشد. ارواح تصادفی نیز انتخاب‌های بهینه ندارند و بدین ترتیب مدل‌سازی آن‌ها با جستجوی مینیماکس، ممکن است نتیجه‌ی بهینه‌ای نداشته باشد. روش مینیماکس احتمالی به جای در نظر گرفتن کوچک‌ترین حرکات حریف، مدلی از احتمال حرکات را در نظر می‌گیرد پس برای ساده‌سازی مدل احتمالی، فرض کنید ارواح حرکات خود را از بین ۴ حرکت مجازشان به صورت یکنواخت و تصادفی انتخاب می‌کنند.

در این سوال باید تغییرات لازم را در کلاس `ExpectimaxAgent` اعمال کنید. همچنین برای مشاهده عملکرد عامل خود می‌توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
python pacman.py -p ExpectimaxAgent -l minimaxClassic -a depth=3
```

نحوه ارزیابی سوال چهارم:

برای امتحان کردن عامل خود از دستورات زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q4

python autograder.py -q q4 --no-graphics
```

سوال: همانطور که در سوال دوم اشاره شد روش مینیماکس در موقعیتی که در دام قرار گرفته باشد خودش اقدام به باختن و پایان سریع‌تر بازی می‌کند ولی در صورت استفاده از مینیماکس احتمالی در ۵۰ درصد از موارد برنده می‌شود. این سناریو را با هر دو دستور زیر امتحان کنید و درستی این گزاره را نشان دهید. همچنین دلیل این تفاوت در عملکرد مینیماکس و مینیماکس احتمالی را توضیح دهید.

```
python pacman.py -p AlphaBetaAgent -l trappedClassic -a depth=3 -q -n 10

python pacman.py -p ExpectimaxAgent -l trappedClassic -a depth=3 -q -n 10
```

سوال: الگوریتم رولت ویل را بررسی کنید و بیان کنید که انتخاب هر کروموزوم در این الگوریتم بر چه اساسی است؟ اگر در بازی پکمن خودمان از آن استفاده کنیم، چه معیاری برای انتخاب هر **action** مناسب است؟ بر فرض اگر نیاز بود تا با کمک الگوریتم رولت ویل بیش‌تر از یک حالت انتخاب شود (با کمک مقدار تابع ارزیابی برای هر حالت) و درخت با توجه به این دو حالت گسترش پیدا کند و حالت‌های بعدی آن‌ها هم بررسی شوند (تا بتوانیم برای حالت بعدی انتخاب بهتری داشته باشیم)، چه راهی به نظر شما منطقی می‌باشد؟

۵) تابع ارزیابی (۶ امتیاز)

یک تابع ارزیابی بهتر برای پکمن در `betterEvaluationFunction` بنویسید. این تابع ارزیابی باید به جای ارزیابی عمل (action)، حالت‌ها (states) را ارزیابی کند، بر خلاف آنچه در سوال اول انجام دادید. تابع ارزیابی شما باید در جستجوی عمق ۲، سناریوی `smallClassic` را با یک روح تصادفی و در نیمی از زمان به اتمام برساند و برنده شود.

برای دریافت نمره کامل، پکمن باید در لحظه‌ای که برنده می‌شود به طور میانگین حدود ۱۱۰۰ امتیاز گرفته باشد.

مهم: برای کسب نمره کامل از این سوال باید از هر چهار پارامتر `pacmanPosition` ، `food` ، `ghostPositions` و `scaredTimes` استفاده کنید. در صورت دریافت نمره کامل از `autograder` و عدم استفاده از هر چهار پارامتر مذکور همچنان نمره‌ای به شما تعلق نخواهد گرفت.

سوال: تفاوت‌های تابع ارزیابی پیاده شده در این بخش را با تابع ارزیابی بخش اول بیان کنید و دلیل عملکرد بهتر این تابع ارزیابی را بررسی کنید.

نحوه ارزیابی سوال پنجم:

`autograder` عامل شما را ۱۰ بار روی سناریوی `smallClassic` اجرا می کند و به صورت زیر نمره‌دهی می‌شود:

اگر حداقل یک بار بدون زمان بندی خودکار برنده شوید، ۱ امتیاز دریافت می کنید. هر نماینده ای که این معیارها را برآورده نکند صفر امتیاز دریافت می کند.

- ۱ امتیاز در صورت برنده شدن حداقل ۱ بار و ۲ امتیاز در صورت برنده شدن در تمام ۱۰ بار
- ۱ امتیاز در صورت کسب میانگین امتیاز حداقل ۵۰۰ و ۲ امتیاز در صورت کسب میانگین امتیاز حداقل ۱۰۰۰
- ۱ امتیاز در صورتی که بازی‌های شما به‌طور میانگین در کمتر از ۳۰ ثانیه در `autograder` در حالت `no-graphics` اجرا شود.

برای امتحان کردن عامل خود با تابع ارزیابی تعریف شده از دستورات زیر استفاده کنید:

```
python autograder.py -q q5

python autograder.py -q q5 --no-graphics
```

توضیحات تکمیلی

- پاسخ به تمرین ها باید به صورت فردی انجام شود. در صورت استفاده مستقیم از کدهای موجود در اینترنت و مشاهده تقلب، برای همه‌ی افراد نمره صفر لحاظ خواهد شد.
- فایل **multiAgents.py** را به همراه پاسخ خود به سوالات که در فایل به شکل سوال مشخص شده‌اند و توضیحاتتان برای پیاده‌سازی‌های انجام شده به همراه اسکرین‌شات را در قالب یک فایل فشرده با فرمت AI_P2_[Student_Number].zip در سامانه کورسز آپلود کنید.
- در صورت هرگونه سوال یا ابهام از طریق ایمیل ai.aut.fall2022@gmail.com با تدریسیاران در تماس باشید، همچنین خواهشمند است در متن ایمیل به شماره دانشجویی خود اشاره کنید.
- همچنین می‌توانید از طریق تلگرام نیز با آیدی‌های زیر در تماس باشید و سوالاتتان را مطرح کنید:
    - @koroshroohi
    - @Pmoonesi
    - @aradFir
    - @amirhosein_rj
- برای این پروژه به صورت رندوم از تعدادی از دانشجویان تحویل آنلاین گرفته خواهد شد و نمره‌دهی مابقی دانشجویان بر اساس گزارش پروژه و پیاده‌سازی انجام شده است. تسلط کافی به سورس کد برنامه ضروری است.
- ددلاین این پروژه ۲ دی ۱۴۰۱ است، بنابراین بهتر است انجام پروژه را به روز های پایانی موکول نکنید.