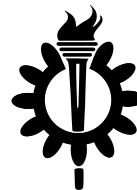


دانشگاه علم و صنعت
دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر

هوش مصنوعی
و سیستم‌های خبره
نیم‌سال اول ۹۸-۹۷

تمرین سری اول: جست‌وجو در فضای حالات

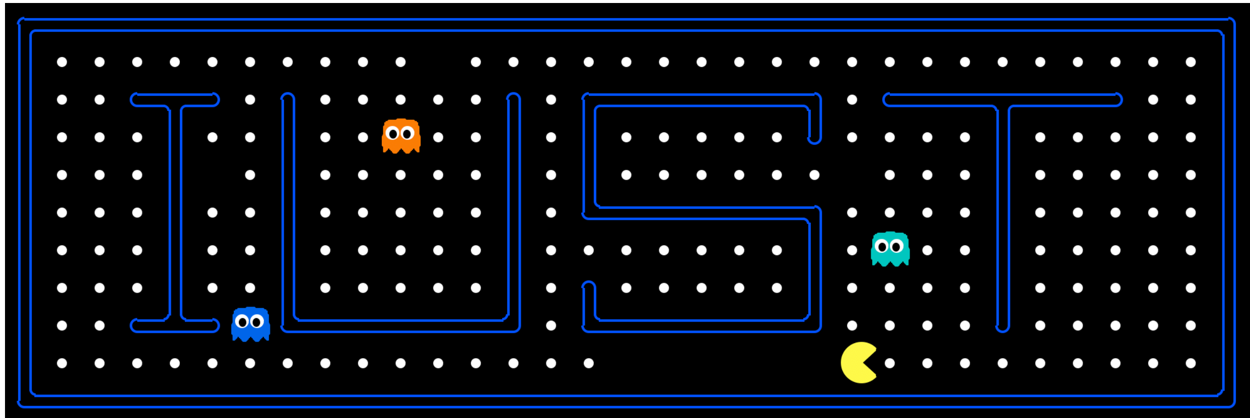
لطفاً به نکات زیر توجه کنید:

- مهلت ارسال این تمرین برای گروه اول **۱۸ مهرماه** و برای گروه دوم **۲۵ مهرماه** است.
- در صورتی که به اطلاعات بیشتری نیاز دارید می‌توانید به صفحه‌ی تمرین در وب‌سایت درس مراجعه کنید.
- این تمرین شامل سوال‌های برنامه‌نویسی می‌باشد، بنابراین توجه کنید که حتماً موارد خواسته‌شده در سوال را رعایت کنید. در صورتی که به هر دلیلی سامانه‌ی داوری نتواند آن را اجرا کند مسئولیت آن تنها به عهده‌ی شماست.
- ما همواره هم‌فکری و هم‌کاری را برای حلِ تمرین‌ها به دانشجویان توصیه می‌کنیم. اما هر فرد باید تمامی سوالات را به تنهایی تمام کند و پاسخ ارسالی حتماً باید توسط خود دانش‌جو نوشته‌شده باشد. لطفاً اگر با کسی هم‌فکری کردید نام او را ذکر کنید. در صورتی که سامانه‌ی تطبیق، تقلبی را تشخیص دهد متأسفانه هیچ مسئولیتی بر عهده‌ی گروه تمرین نخواهد بود.
- لطفاً برای ارسال پاسخ‌های خود از راهنمای موجود در صفحه‌ی تمرین استفاده کنید.
- هر سؤالی درباره‌ی این تمرین را می‌توانید در گروه درس مطرح کنید و یا از دستیاران حلِ تمرین بپرسید.

  - آدرس صفحه‌ی تمرین: https://iust-courses.github.io/ai97/assignments/01_search_problems
  - آدرس گروه درس: https://groups.google.com/forum/#!forum/ai97

موفق باشید

دنیای پَک‌من



فریم‌ورکی[1] که در این سری از تمرین‌ها با آن کار می‌کنید یک نسخه‌ی ساده و البته کامل از بازی معروف پک‌من است. هدف از ایجاد این چهارچوب، پیاده‌سازی و یادگیری مفاهیم و تکنیک‌های پایه در هوش مصنوعی مانند جست‌و جو در فضای حالات، یادگیری تقویتی و استنتاج احتمالی است.

قبل از اینکه به اولین سؤال بپردازیم، ابتدا باید کمی با نحوه‌ی کارکرد این فریم‌ورک آشنا شویم.

۱. نحوه‌ی اجرا:

فایل زیپ را از صفحه‌ی تمرین دانلود کنید و آن را از حالت فشرده خارج کرده، سپس دستورات زیر را اجرا کنید:

```
$ cd assignment01
$ python pacman.py
```

می‌توانید زمین بازی را به نقشه‌ی دلخواهتان تغییر دهید (سایر نقشه‌ها را در پوشه‌ی layouts می‌توانید پیدا کنید):

```
$ python pacman.py --layout powerClassic
```

می‌توانید عامل[2] کنترل‌کننده‌ی پک‌من و حتی روح‌ها را هم عوض کنید:

```
$ python pacman.py --pacman GreedyAgent --ghost DirectionalGhost
```

برای مشاهده‌ی تمام قابلیت‌های بازی می‌توانید از دستور زیر استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -h
```

[1] این فریم‌ورک ابتدا در دانشگاه برکلی توسعه یافته و سپس برای این درس شخصی‌سازی شده است.

[2] Agent

۲. ساختار فایل‌ها:

نکته: این فرم‌ورک با زبان پایتون نوشته شده است. بنابراین برای انجام تمرین‌ها نیاز به کمی آشنایی با زبان پایتون دارید. در صورت نیاز می‌توانید از این‌جا استفاده کنید.

اطلاعاتی که برای انجام این تمرین نیاز دارید کاملاً در قسمت بعد آمده است بنابراین این قسمت مستقیماً مورد سؤال نیست اما مطالعه‌ی آن دیدِ بهتری از ساختار فریم‌ورک به شما می‌دهد.

ماژول‌های اصلی، بهتر است نگاهی به آن‌ها بیندازید.	
این فایل، نقطه‌ی شروع برنامه است و جزئیات مخصوص به بازی پک‌من مانند سیاست‌های برد و باخت، نحوه‌ی حرکت شخصیت‌های بازی و تعاملات آن‌ها با یک‌دیگر را مدل می‌کند.	paceman.py
موتور اصلی بازی و نحوه‌ی کنترل آن در این فایل قرار دارد. داده‌ساختارهای AgentState (وضعیت شخصیت)، Agent (شخصیت‌ها) و Grid (نقشه‌ی بازی) در آن پیاده‌سازی شده‌اند.	game.py
چند مورد از عامل‌های کنترل‌کننده‌ی پک‌من در این ماژول پیاده‌سازی شده‌اند.	pacmanAgents.py
چند مورد از عامل‌های کنترل‌کننده‌ی روح‌ها در این ماژول پیاده‌سازی شده‌اند.	ghostAgents.py
عامل کنترل‌کننده که دستورات‌آن از صفحه‌کلید گرفته می‌شود.	keyboardAgents.py
ابزارها و داده‌ساختارهای کمکی که می‌توانید در تمرین‌ها از آن‌ها استفاده کنید.	util.py

سایر فایل‌ها که صرفا برای پیاده‌سازی بازی هستند. می‌توانید آن‌ها را رد کنید.
graphicDisplay.py, graphicUtils.py, layout.py, projectParams.py, test*.py

زمین بازی یک صفحه‌ی دوبعدی است که هر خانه‌ی آن یا دیوار است یا خالی و طبیعتاً تنها در صورتی که آن خانه خالی باشد می‌توان وارد آن شد. ممکن است در هر خانه‌ی زمین یک غذا و یا یک کپسول موجود باشد. همچنین همه‌ی عامل‌های بازی می‌توانند به وضعیت تمام زمین از جمله غذاها، دیوارها، کپسول‌ها و هم‌چنین محل و جهت سایر عامل‌ها دسترسی داشته باشند.

در این فریم‌ورک تقریباً تمام بازی پیاده‌سازی شده است؛ وظیفه‌ی شما تنها پیاده‌سازی یک عامل هوشمند است که کنترل شخصیت پک‌من یا یکی از روح‌ها را بر عهده می‌گیرد. کلاس Agent به همین منظور تعبیه شده است. در هر مرحله موتور بازی وضعیت همه‌ی المان‌های بازی را محاسبه می‌کند و سپس با فراخوانی متد `getAction` از این

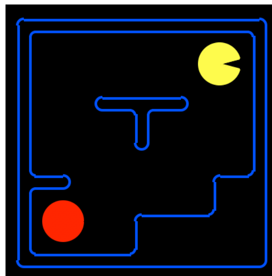
کلاس و هم‌چنین پاس‌دادن وضعیت زمین به آن، حرکت بعدی عامل را درخواست می‌کند. این روند تا پایان بازی تکرار خواهد شد.

۳. حالت‌های بازی:

این فریم‌ورک دو حالت مختلف را در خود دارد. حالت اول همان پک‌من کلاسیک است که شخصیت پک‌من باید غذاهای روی زمین را بخورد و هم‌چنین از روح‌ها باید فرار کند. حالت دیگر، «حالت جست‌وجو» است به این صورت که پک‌من باید از نقطه‌ای شروع کند و به هدف مشخصی برسد. حال ممکن است این هدف صرفاً مکان خاصی در زمین باشد یا گذشتن از ۴ گوشه‌ی زمین و یا حتی خوردن همه غذاها و یا حتی همه‌ی این‌ها با هم. کاملاً می‌توان مسائل و فضای جست‌وجوی دلخواهی را برای آن تهیه کرد.

این سری از تمرین‌ها فقط در مورد حالت دوم است. در ادامه برای حل سوالات مربوط به جست‌وجو نیاز نیست عامل را از اول پیاده‌سازی کنید. فریم‌ورک این را برای شما فراهم کرده است. کلاس SearchAgent برای این حالت طراحی شده‌است. این کلاس دو ورودی می‌گیرد ۱- الگوریتم جست‌وجو ۲- مساله جست‌وجو. در این تمرین مسائل جست‌وجو مختلفی را خواهید دید، بعضی از آن‌ها برای شما پیاده‌سازی شده‌اند و بعضی هم به عهده‌ی شماست. هم‌چنین در سوالات ابتدایی شما چند الگوریتم جست‌وجو را نیز پیاده‌سازی خواهید کرد.

برای الگوریتم جست‌وجو، کافی است تابعی را پیاده‌سازی کنید که مساله‌ی جست‌وجو را به عنوان ورودی گرفته و دنباله‌ای از حرکاتی که پک‌من باید انجام دهد تا به هدف مساله برسد را به عنوان خروجی برگرداند. حرکت‌هایی که پک‌من می‌تواند انجام دهد شامل حرکت به سمت شمال، جنوب، شرق، غرب و یا ایست است.



```python
from game import Directions

def search_algorithm(problem):
    s = Directions.SOUTH
    w = Directions.WEST
    return  [s, s, w, s, w, w, s, w]
```

همان‌طور که در مثال ساده‌ی بالا مشاهده می کنیم، این تابع برای رسیدن پک‌من به مقصد (نقطه‌ی قرمز) دنباله‌ای شامل ۸ حرکت را خروجی می‌دهد(در مثال بالا از پارامتر `problem` استفاده نشده است اما در ادامه به این پارامتر نیاز خواهید داشت).

پارامتر `problem` متغیری از جنس کلاس `SearchProblem` است. این کلاس، کلاسی انتزاعی و عمومیست که بیان‌گر و مدل‌کننده‌ی هر نوع مساله‌ی جست‌وجو و فضای مربوط به آن است. بنابراین هر مساله‌ای باید جداگانه آن را

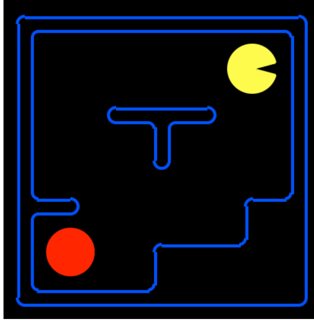
پیاده‌سازی بکند. این کلاس به شما حالت شروع، حالت هدف (پایان)، حرکت‌های مجاز از یک حالت خاص و هم‌چنین هزینه‌ی هر دنباله‌ی دلخواهی از حرکات را برمی‌گرداند.

```
class SearchProblem:
    def getStartState(self)
    def isGoalState(self, state)
    def getNextStates(self, state)
    def getCostOfActions(self, actions)
```

- **getStartState():** این تابع state شروع جست‌وجو را به شما می‌دهد؛ به طور مثال در سوالات ابتدایی که مساله جست‌وجو فقط براساس مکان است، خروجی این تابع مختصات نقطه‌ی شروع پک‌من در نقشه است.
- **isGoalState(state):** این تابع یک state می‌گیرد و اگر آن حالت هدف(مقصد) جست‌وجو باشد مقدار True برمی‌گرداند و در غیر این صورت False.
- **getNextStates(state):** این تابع با گرفتن یک state ، حالت‌های بعدی را که می‌توان با حرکات مجاز رفت، خروجی می‌دهد. هر آیتم از این لیست یک سه‌تایی است که به ترتیب: حالت جدید، حرکت لازم برای رسیدن به آن وهزینه‌ی انجام این حرکت.
- **getCostOfActions(actions):** این تابع لیستی از حرکت‌ها را می‌گیرد و هزینه‌ی این دنباله را حساب می‌کند. طبیعتاً همه‌ی حرکات باید مجاز باشند.

حال هر مساله‌ی جست‌وجویی با توجه به شرایطش باید این توابع را پیاده‌سازی کند. به طور مثال اگر مساله، جست و جو در گراف باشد، این کلاس باید ریشه، گره‌ی هدف، بچه‌های هر گره و هزینه‌ی حرکات را خروجی دهد (در این‌جا هزینه‌ی همه‌ی حرکات برابر یک است).

یک مساله‌ی جست‌وجوی دیگر، مساله‌ی پیداکردن یک نقطه‌ی خاص در نقشه‌ی بازی پک‌من است. این کلاس به صورت پیشفرض برای شما پیاده‌سازی شده است (کلاس PositionSearchProblem در فایل searchAgents.py) به طور مثال در این مساله، کلاس ذکر شده باید مختصات نقطه‌ی شروع، مختصات نقطه‌ی پایان و مکان‌هایی را که با هر حرکت به آن می‌رسیم خروجی دهد. در صفحه‌ی بعد عملکرد این کلاس را می‌توان مشاهده کرد، توجه کنید که شکل سمت چپ تصویری از نقشه را نشان می‌دهد. (مبدا مختصات پایین سمت چپ است)



```python
def search_algorithm(problem):
    # problem is an instance of PositionSearchProblem
    print problem.getStartState()
    print problem.isGoalState((5, 5))
    print problem.isGoalState((1, 1))
    print problem.getNextStates(problem.getStartState())
    return [...]
```

خروجی

```
(5, 5)
False
True
[ ( (5, 4), 'South', 1 ), ( (4, 5), 'West', 1 ) ]
```

برای اجرای حالت جست‌وجو، از دستور زیر می‌توانید استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -p SearchAgent -a fn=<search_fn>,prob=<search_problem>
-l=<search_map>
```

- **<search_fn>**: نام تابعی است که الگوریتم جست‌وجو را پیاده‌سازی می‌کند و حتماً باید در فایل searchFunctions.py موجود باشد.
- **<search_problem>**: نام کلاسی است که مساله‌ی جست‌وجو را پیاده سازی می‌کند و حتماً باید در فایل searchProblems.py موجود باشد. اگر این پارامتر را مقدار ندهید، به صورت پیش‌فرض مساله‌ی جست‌وجوی مکانی بارگذاری می‌شود.
- **<search_map>**: نام نقشه‌ای است که از این حالت پشتیبانی می‌کند(در هر سوال نقشه‌ی مورد نظر به شما گفته می‌شود)

به طور مثال:

```
$ python pacman.py -l tinyMaze -p SearchAgent -a fn=tinyMazeSearch
```

نکته: در سوال‌های پیش‌رو مساله جست‌وجوی مورد بحث ، جست‌وجوی مکانیست (مگر خلاف آن گفته شود).

سؤال‌ها

۱. هِزارتو (۱۰ نمره)

می‌گویند اگر در هزارتویی گرفتار شوید کافیست دست راست خود را به دیوار بگیرید و شروع کنید به حرکت‌کردن. تضمین می‌شود اگر راه خروجی وجود داشته باشد بعد از طی کردن مسافتی متناهی به آن برسید. حال فرض کنید پک‌من هم در هزارتویی قرار دارد. تابع الگوریتم جست‌وجو را طوری پیاده‌سازی کنید که با استفاده از روش دست راست به نقطه‌ی خروج هزارتو برسد.

برای پاسخ به این سوال باید بدنه‌ی تابع `right_hand_maze_search(problem)` را در فایل searchFunctions.py پر کنید. خروجی تابع، دنباله‌ای از حرکت‌هاست. برای تست کد خود می‌توانید از دستورات زیر استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -l tinyMaze -p SearchAgent -a fn=right_hand_maze_search
$ python pacman.py -l rhmsMaze -p SearchAgent -a fn=right_hand_maze_search
```

۲. جست‌وجو در فضای مساله - اول عمق (۲۰ نمره)

حالا وقت آن است که با الگوریتم بهتری به دنبال هدف بگردیم. در کلاس، الگوریتم جست‌وجوی اول-عمق(dfs) را یاد گرفتیم. در این سوال شما باید این الگوریتم را پیاده‌سازی کنید. توجه داشته باشید پیاده‌سازی الگوریتم نباید مختص به هیچ مساله‌ی جست‌وجوی خاصی باشد، بلکه باید کاملاً عمومی باشد تا هر نوع مساله‌ی جست‌وجویی که با استفاده از کلاس `SearchProblem` پیاده‌سازی شده باشد را حل کند. در سوال‌های بعد به این پیاده‌سازی نیاز خواهید داشت. توجه داشته باشید برای اینکه پیاده‌سازی شما کامل باشد نباید حالت‌هایی که قبلاً دیده‌است را دوباره گسترش دهد.

برای پاسخ به این سوال باید بدنه‌ی تابع `dfs(problem)` را در فایل searchFunctions.py پر کنید. خروجی تابع، دنباله‌ای از حرکت‌هاست. برای پیاده‌سازی خود می‌توانید از داده‌ساختارهایی که در فایل util.py آمده‌است استفاده کنید. هم‌چنین درستی کد خود را با دستورات زیر تست کنید:

```
$ python pacman.py -l tinyMaze -p SearchAgent -a fn=dfs
$ python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent -a fn=dfs
$ python pacman.py -l bigMaze -p SearchAgent -a fn=dfs -z 0.5
```

نکته: بازی به ازای هر مکانی در نقشه که الگوریتم شما بررسی می‌کند، رنگ قرمزی روی آن می‌کشد. هرچه رنگ قرمز روشن‌تر باشد یعنی این مکان زودتر بررسی شده است و هرچه تیره‌تر، دیرتر.

آیا روند بررسی خانه‌های نقشه همانیست که انتظار داشتید؟ آیا پک‌من برای رسیدن به جواب، تمامی مکان‌ها را بررسی می‌کند؟

حال فرض کنید برای مساله‌ی جست‌وجو، جوابی وجود نداشته باشد. به طور مثال پک‌من در مکان بسته قرار بگیرد. پاسخ پیاده‌سازی شما چه خواهد بود؟ برای تکمیل پیاده‌سازی خود، آن را طوری تغییر دهید که اگر جوابی وجود نداشت یک لیست فقط شامل `Directions.STOP` برگرداند. برای تست کد خود می‌توانید از دستورات زیر استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -l trappedPacman -p SearchAgent -a fn=dfs
$ python pacman.py -l unreachableGoal -p SearchAgent -a fn=dfs
```

۳. جست‌وجو در فضای مساله - اول سطح (۲۰ نمره)

در این سوال باید الگوریتم اول-سطح (bfs) را پیاده سازی کنید. یکی از ویژگی‌های این الگوریتم تضمین رسیدن به پاسخ بهینه (از لحاظ هزینه) است. برای همین اگر در تست‌های زیر برنامه‌ی شما به پاسخ بهینه نرسید باید دوباره آن را بررسی کنید.

برای پاسخ به این سوال باید بدنه‌ی تابع `bfs(problem)` را در فایل searchFunctions.py پر کنید. خروجی تابع، دنباله‌ای از حرکت‌هاست. برای تست کد خود می‌توانید از دستورات زیر استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent -a fn=bfs
$ python pacman.py -l bigMaze -p SearchAgent -a fn=bfs -z 0.5
```

گفته شد که الگوریتم bfs پاسخ بهینه را تضمین می‌کند، اما آیا همیشه همین‌طور است؟ چه چیزی در این مساله باعث می‌شود bfs بهترین پاسخ را پیدا کند؟ می‌توانید مساله‌ای را مثال بزنید که bfs نتواند بهترین پاسخ را بیابد؟

۴. غذاخوردن به ترتیب (۲۰ نمره)

در سوالات قبل روش‌هایی برای گشتن در فضای جست‌وجو پیاده‌سازی کردیم و آن‌ها را در مساله‌ی نسبتاً ساده‌ی `PositionSearchProblem` تست کردیم. از آن‌جایی که قرار بود پیاده‌سازیمان عمومی باشد بنابراین باید بتوانند در هر مساله‌ی جست‌وجویی کار بکنند. در این سوال می‌خواهیم مساله‌ی دیگری را پیاده‌سازی کنیم. مساله‌ی جست‌وجو این است که پک‌من باید قبل از رسیدن به مقصد مشخصش، ابتدا تمامی غذاهای روی زمین را بخورد. با

این شرط که روش حرکت پک‌من ساعت‌گرد باشد. بنابراین برای پیاده‌سازی این مساله، شما باید کلاسی بنویسید که از `SearchProblem` ارث‌بری کرده باشد و متدهای آن را با توجه به این مساله‌ی خاص پر شده باشد.

برای راحتی کار بهتر است ابتدا فضای حالت را برای این مساله‌ی خاص در نظر بگیرد و جزئیات آن را به دست آورید. توجه کنید فضای حالتی که در نظر می‌گیرید نباید اطلاعات غیر ضروری‌ای در خود داشته باشد چرا که باعث می‌شود اندازه‌ی فضای حالات شما بیهوده بزرگ شود.

برای پاسخ به این سوال، شما باید کلاس `ClockwiseFoodProblem` موجود در فایل searchProblems.py را پر کنید. برای تست کد خود می‌توانید از دستورات زیر استفاده کنید:

```
$ python pacman.py -l openSearch -p SearchAgent -a fn=bfs,prob=
ClockwiseFoodProblem
$ python pacman.py -l mediumCFoodMaze -p SearchAgent -a fn=bfs,prob=
ClockwiseFoodProblem
$ python pacman.py -l bigCFoodMaze -p SearchAgent -a fn=bfs,prob=
ClockwiseFoodProblem -z 0.5
```

راهنمایی: برای مثال می‌توانید کلاس `PositionSearchProblem` را مرور کنید. پیاده‌سازی شما در این سوال، بیشتر در توابع `getNextStates` و `isGoalState` تفاوت خواهد داشت.

نقشه‌ی heavySearch را ابتدا با الگوریتم dfs و سپس با الگوریتم bfs اجرا کنید؛ چه مشکلی پیش می‌آید؟ به نظر شما چه چیزی باعث بروز چنین تفاوتی می‌شود؟

۵. منطقه‌ی سمی (۱۰ نمره)

فرض کنید بخواهیم مسیریابی پک‌من را کمی تحت تاثیر عوامل دیگر قرار دهیم؛ به طور مثال فرض کنید در مساله‌ی `PositionSearchProblem` پک‌من را تشویق کنیم برای رسیدن به یک نقطه‌ی خاص،از مناطقی که روح‌ها در آن هستند(مناطق سمی) هم دوری کند.

برای اعمال این شرایط تغییر جزئیات فضای حالت و یا هدف مساله کمکی به ما نمی‌کند. اما اگر هزینه‌ی ورود به حالتی که در منطقه‌ای سمیست را بیشتر از حالت‌های دیگر در نظر بگیریم می‌توانیم الگوریتم جست‌وجویی طراحی کنیم که مسیرهای بهینه‌تری را انتخاب کند. بنابراین فقط کافیس نحوه‌ی محاسبه‌ی هزینه را طوری به روزرسانی کنیم که هزینه‌ی ورود به مناطق سمی بیشتر از مناطق امن باشد. توجه کنید که منطقه‌ی سمی، مربعی ۳در۳ است که یک روح در مرکز آن قرار دارد.

برای پاسخ به این سوال، شما باید بدنه‌ی تابع `cost_function` از کلاس `DangerousPositionSearch` را در فایل searchProblems.py پر کنید.

مطمئن شوید پیاده‌سازی شما از برخورد با روح‌ها جلوگیری می‌کند زیرا در صورت برخورد با آن‌ها می‌بازید. در صورت نیاز می‌توانید تابع `getNextStates` را نیز تغییر دهید.

۶. جست‌وجو در فضای مساله - هزینه‌ی یکنواخت (۲۰ نمره)

حال که مساله‌ی `DangerousPositionSearch` را به صورت کامل داریم، کافیست الگوریتم جست‌وجویی پیاده‌سازی کنیم که مسیرهایی با هزینه‌ی کمتر در نظر بگیرد. همان‌طور که می‌دانید bfs هیچ اطلاعی از هزینه‌ی حرکت‌ها ندارد بنابراین نمی‌تواند کمکی به ما بکند. اما الگوریتم Unifrom-Cost-Search می‌تواند این قابلیت را برای ما فراهم کند. در این سوال، این الگوریتم را پیاده‌سازی خواهیم کرد.

برای پاسخ به این سوال باید بدنه‌ی تابع `ucs(problem)` را در فایل searchFunctions.py پر کنید. خروجی تابع، دنباله‌ای از حرکت‌هاست.

```
$ python pacman.py -l dangMaze -p SearchAgent -a
fn=ucs,prob=DangerousPositionSearch
$ python pacman.py -l bigDanMaze -p SearchAgent -a
fn=ucs,prob=DangerousPositionSearch -z 0.5
```

راهنمایی: استفاده از کلاس `PriorityQueue` در فایل util.py توصیه می‌شود.

اگر پیاده‌سازی شما درست باشد خواهید دید که پک‌من از نواحی‌ای که روح‌ها در آن قرار دارند دوری می‌کند.اما bfs توانایی رعایت این شرایط را ندارد.

البته اگر هزینه‌ی همه حرکت‌ها در مساله‌ی ما یکسان باشد الگوریتم ucs کاملاً شبیه به bfs عمل خواهد کرد.

```
$ python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent -a fn=bfs
$ python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent -a fn=usc
```