



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی کامپیوتر

## هوش مصنوعی

بهار ۱۴۰۱

استاد: محمدحسین رهبان

گردآورندگان: محمد رستمی، صبا هاشمی، امیرصدرا عبدالمهی

مهلت ارسال: ۲۶ اسفند

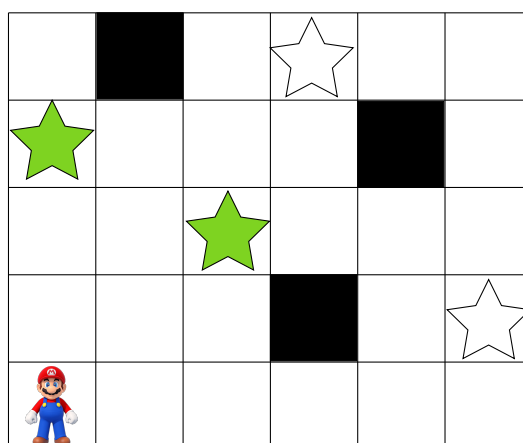
مقدمه و جست و جو

تمرین اول

- مهلت ارسال پاسخ تا ساعت ۲۳:۵۹ روز مشخص شده است.
- در طول ترم امکان ارسال با تاخیر پاسخ همه‌ی تمارین تا سقف ۷ روز و در مجموع ۲۰ روز، وجود دارد. پس از گذشت این مدت، پاسخ‌های ارسال شده پذیرفته نخواهند بود. همچنین، به ازای هر روز تأخیر غیر مجاز ۱۰ درصد از نمره تمرین به صورت ساعتی کسر خواهد شد.
- هم‌کاری و هم‌فکری شما در انجام تمرین مانعی ندارد اما پاسخ‌های ارسال شده حتماً باید توسط خود او نوشته شده باشد.
- در صورت هم‌فکری و یا استفاده از هر منابع خارج درسی، نام هم‌فکران و آدرس منابع مورد استفاده برای حل سوال مورد نظر را ذکر کنید.
- لطفاً تصویری واضح از پاسخ سوالات نظری بارگذاری کنید. در غیر این صورت پاسخ شما تصحیح نخواهد شد.

### سوالات نظری (۷۰ نمره)

۱. (۶ نمره) درستی یا نادرستی گزاره‌های زیر را با ذکر دلیل نشان دهید.
  - (آ) وظیفه بخش مولد مسئله<sup>۱</sup> در عامل‌های مبتنی بر یادگیری<sup>۲</sup>، ایجاد امکان کاوش در محیط برای کسب اطلاعات بیشتر است.
  - (ب) عاملی با رفتاری کاملاً عقلانی، که در حال انجام بازی حاوی عنصر شانس (همانند پرتاب سکه) می‌باشد، هیچ‌گاه بازنده نخواهد بود.
  - (ج) الگوریتم‌های جست‌وجو را در محیط‌هایی که کاملاً مشاهده‌پذیر نیستند، نمی‌توان مورد استفاده قرار داد.
۲. (۱۵ نمره) همانند شکل زیر، فرض کنید شما کنترل عامل<sup>۳</sup>، که ماریو می‌باشد را، در درون یک مارییچ مستطیلی شکل  $N \times M$  بر عهده دارید. این مارییچ مستطیلی شکل حاوی دو عدد ستاره می‌باشد و نقشه آن را می‌دانیم.



شکل ۱: یک مارییچ و ماریو

<sup>۱</sup> Problem Generator

<sup>۲</sup> Learning Agent

<sup>۳</sup> Agent

ماريو در هر حرکت می‌تواند به یکی از خانه‌های مجاور که با مکان فعلی او ضلع مجاور دارند و مانعی در آن‌ها وجود ندارد، حرکت کند و یا در خانه فعلی بماند (مانع‌ها در شکل بالا با رنگ سیاه مشخص شده‌اند). همچنین هر حرکت ماريو یک واحد زمانی هزینه دارد. با توجه به اینکه ستاره‌های سبز رنگ در مکان اصلی خود که از قبل مشخص گردیده‌اند، قرار ندارند، و هر کدام در محلی مجزا غیر از محل اصلی خود قرار دارند. همچنین امکان جابه‌جایی هر دو ستاره به صورت هم‌زمان برای ماريو وجود ندارد؛ هدف مسئله آن است که ماريو با حرکت دادن هر ستاره به خانه‌های مجاور، آن‌ها را در مکان اصلی خود قرار دهد، به طوری که ستاره‌های سبز رنگ با صرف کم‌ترین هزینه زمانی ممکن، در مکان اصلی خودشان قرار گیرند. دقت کنید که ستاره‌ها همسان‌اند و نمی‌توانند به صورت هم‌زمان در یک خانه قرار بگیرند. با توجه به توضیحات فوق:

(آ) فضای مسئله را به صورت کارآمد طوری پیکربندی نمایید که حالت‌ها<sup>۴</sup>، کنش‌ها<sup>۵</sup>، هزینه هر کنش و هدف<sup>۶</sup> مشخص شوند.

(ب) کران بالایی مناسبی برای اندازه فضای مسئله بر حسب  $N$  و  $M$  بدست بیاورید.

(ج) کران بالایی مناسبی برای ضریب انشعاب<sup>۷</sup> بدست بیاورید.

(د) یک تابع اکتشافی قابل قبول<sup>۸</sup> و یک‌نوا<sup>۹</sup> غیربیدیهی برای مسئله ارائه دهید.

۳. (۱۰ نمره) درستی و یا نادرستی گزاره‌های زیر با ذکر دلیل نشان دهید.

(آ) اگر  $h$  تابع اکتشافی یک‌نوا باشد، آن‌گاه  $\sqrt{\frac{h}{4}}$  نیز یک‌نوا خواهد بود.

(ب) اگر  $h_1$  تابع اکتشافی قابل قبول و  $h_2$  تابع اکتشافی یک‌نوا باشند آن‌گاه  $h' = \min(h_1, h_2)$  نیز یک‌نوا خواهد بود.

(ج) در صورتی که  $H_1$  یک تابع اکتشافی قابل قبول و  $H_2$  یک تابع اکتشافی غیرقابل قبول<sup>۱۰</sup> باشد، آن‌گاه  $H' = \frac{H_1 + H_2}{4}$  نیز یک تابع اکتشافی قابل قبول خواهد بود.

(د) اگر  $H_1, H_2$  و  $H_3$  توابع اکتشافی قابل قبول باشند، آن‌گاه  $H' = \min(H_1, H_2 + H_3)$  نیز یک تابع اکتشافی قابل قبول خواهد بود.

(ه) در هر مسئله‌ای جست‌وجو، اگر به ازای هر حالت  $s$  داشته باشیم  $h(s) = 1$ ، آن‌گاه  $h$  یک تابع اکتشافی قابل قبول می‌باشد.

۴. (۱۵ نمره) فرض کنید می‌خواهیم از یک فایل رمزنگاری شده که در داخل آن رمزعبوری وجود دارد، رمزعبور را به کمک الگوریتم‌های جست‌وجو بازیابی کنیم. همچنین می‌دانیم که رمزعبور متشکل از رشته‌ای از حروف مجموعه  $\{A, B, C\}$  می‌باشد و طول آن حداکثر ۱۰ می‌باشد. به همین منظور فرض کنید دستگاهی در دسترس می‌باشد که با گرفتن یک رشته از ورودی می‌تواند تشخیص می‌دهد که آن رشته رمزعبور است یا خیر.

<sup>۴</sup>States

<sup>۵</sup>Actions

<sup>۶</sup>Goal

<sup>۷</sup>Branching Factor

<sup>۸</sup>Admissible

<sup>۹</sup>Consistent or Monotonic

<sup>۱۰</sup>Inadmissible

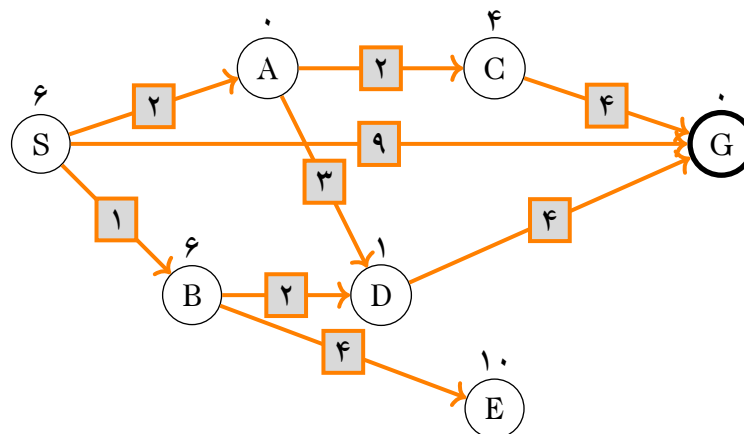
برای پاسخ‌گویی به سوالات زیر ابتدا فرض کنید چندین رمزعبور صحیح وجود دارد و هر کدام از اعضای مجموعه

$$P = \{AAACCC, ABBCC, BABAB, BCABACB, CBAC, CBACB\}$$

یک رمزعبور صحیح هستند. هم‌چنین فرض کنید در شرایط یکسان، ترتیب بررسی رأس‌ها در الگوریتم‌های جست‌وجو، به ترتیب حروف الفبا باشد. برای مثال اگر در وضعیتی باشیم که امکان گسترش یا پیمایش سه گره با نام‌های A، B و C باشد، آن‌گاه ابتدا A را مورد بررسی قرار می‌دهیم سپس B و در انتها نیز C را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

- (آ) با مشخص کردن حالت اولیه، کنش‌ها و هدف، مسئله را به عنوان یک مسئله جست‌وجو پیکربندی نمایید.
- (ب) در صورتی که از الگوریتم جست‌وجوی عمق اول<sup>۱۱</sup> استفاده شود آن‌گاه کدام رمزعبور توسط الگوریتم ذکر شده، از مجموعه P یافت خواهد شد؟ دلیل خود را ذکر کنید.
- (ج) در صورتی که از الگوریتم جست‌وجوی سطح اول<sup>۱۲</sup> استفاده شود آن‌گاه کدام رمزعبور توسط الگوریتم ذکر شده، از مجموعه P یافت خواهد شد؟ دلیل خود را ذکر کنید.
- (د) فرض کنید می‌دانیم که احتمال رخداد برخی حروف در رمزعبور بیش‌تر از سایرین است به همین منظور، هزینه حرف A را برابر یک، هزینه حرف B را برابر دو و هزینه حرف C را نیز برابر با سه قرار می‌دهیم. حال با ذکر دلیل و با توجه به مجموعه P و هزینه تخصیص داده‌شده به هر حرف، کدام رمزعبور توسط الگوریتم جست‌وجوی هزینه یک‌نواخت<sup>۱۳</sup> یافت می‌شود؟

۵. (۹ نمره) مسئله جست‌وجوی زیر را با نقطه شروع S و رأس هدف G، در نظر بگیرید. مقدار تابع اکتشافی هر رأس نیز بر روی هر رأس قرار دارد و هزینه هر کنش نیز بر روی یال‌ها نوشته شده است. هم‌چنین فرض کنید در شرایط یکسان، ترتیب بررسی رأس‌ها در الگوریتم‌های جست‌وجو، به ترتیب حروف الفبا باشد.



(آ) مسیری که توسط الگوریتم جست‌وجوی درختی اول بهترین حریصانه<sup>۱۴</sup> یافت می‌شود را بنویسید و جدول زیر را که مراحل اجرای الگوریتم را نشان می‌دهد تکمیل کنید.

مسیر گسترش‌یافته	لیست باز (به ترتیب مقادیر تابع اکتشافی)
S	S-A(۰) S-G(۰) S-B(۶)

<sup>۱۱</sup>Depth-First Search

<sup>۱۲</sup>Breadth-First Search

<sup>۱۳</sup>Uniform Cost Search

<sup>۱۴</sup>Greedy Best-First Tree Search

(ب) مسیری که توسط الگوریتم جست و جوی درختی  $A^*$  یافت می شود را بنویسید و جدول زیر را که مراحل اجرای الگوریتم را نشان می دهد تکمیل کنید.

مسیر گسترش یافته	لیست باز (به ترتیب مقادیر مسیر + تابع اکتشافی)
S	S-A(۲) S-B(۷) S-G(۹)

(ج) مسیری که توسط الگوریتم جست و جوی گرافی  $A^*$  یافت می شود را بنویسید و جدول زیر را که مراحل اجرای الگوریتم را نشان می دهد تکمیل کنید.

مسیر گسترش یافته	لیست بسته	لیست باز (به ترتیب مقادیر مسیر + تابع اکتشافی)
S	S	S-A(۲) S-B(۷) S-G(۹)

۶. (۱۵ نمره) صحیح یا غلط بودن موارد زیر را مشخص کنید و در هر مورد علت را توضیح دهید.

(آ) الگوریتم جست و جوی  $A^*$  با یک تابع اکتشافی یک نوا، در شرایطی که مسیری متناهی به سمت هدف وجود داشته باشد، ضریب انشعاب متناهی باشد و هزینه هر کنش بیشتر از صفر باشد اما تعداد حالات نامتناهی باشد، لزوماً خاتمه می یابد.

(ب) فرض کنید گراف همبند و بدون جهت  $G$  که برآمده از یک مسئله جست و جوی خاص است و رأس شروع و هدف آن نیز مشخص است، داده شده است. گراف  $G$  حاوی  $N$  رأس می باشد که در آن  $N$  بزرگ اما متناهی است. هم چنین فرض کنید هر رأس در گراف  $G$  با دقیقاً  $D$  رأس دیگر همسایه می باشد و طول کوتاه ترین مسیر از رأس شروع به هدف نیز  $L$  باشد. برای یافتن مسیری از رأس شروع به هدف به صورت دو طرفه<sup>۱۵</sup> که به شرح زیر است، عمل خواهیم کرد:

- جست و جوی درختی سطح اول را از رأس شروع و جست و جوی درختی سطح اول از رأس هدف اجرا خواهیم نمود.
- ابتدا جست و جوی درختی سطح اول را از رأس شروع، رأسی را گسترش می دهد و سپس جست و جوی درختی سطح اول از رأس هدف رأسی را گسترش خواهد داد.
- این کار تا گسترش رأس  $u$  که  $u$  از قبل توسط الگوریتم جست و جوی دیگر، گسترش داده شده است، ادامه خواهد یافت.

برای یافتن مسیری از رأس شروع به هدف، تعداد رئوسی که در بهترین حالت در الگوریتم گفته شده، گسترش داده می شوند  $O(D^{\frac{L}{2}-1})$  خواهد بود و در بدترین حالت، تعداد رئوسی که گسترش می یابند  $O(D^{\frac{L}{2}})$  خواهد بود.

(ج) یک مسئله جست و جوی را در نظر بگیرید که هر یال حاوی هزینه یکسان باشد. فرض کنید تابع اکتشافی مورد استفاده  $h$  خواهد بود و  $0 \leq h \leq h^*$ ، که  $h^*$  همان هزینه مسیر بهینه از هر رأس به نزدیک ترین هدف خواهد بود. حال اگر در الگوریتم جست و جوی  $A^*$  از تابع اکتشافی  $h$  استفاده شود، آنگاه تعداد رئوس گسترش یافته توسط تابع  $h$  در مقایسه با رئوس گسترش یافته توسط تابع  $h^*$ ، در بدترین حالت نمایی خواهد بود.

<sup>۱۵</sup>Bidirectional Search

۱. (۳۵ نمره) تن تن، خبرنگار جوان، به یک کشور پر از تبهکار سفر کرده است. در این کشور، شهرها از طریق جاده‌هایی با مسافت مشخص به یکدیگر متصل هستند و زمانی که رفتن از یک شهر به شهر دیگر طول می‌کشد برابر با مسافت جاده‌ی بین دو شهر است. تن تن که در شهر  $s$  قرار دارد، مدارکی بر علیه تبهکاران این کشور پیدا کرده است و می‌خواهد آن‌ها را به دست دادستانی کل در شهر  $g$  برساند.

در این کشور  $T$  تبهکار در  $T$  شهر مختلف قرار دارند و می‌خواهند پیش از رسیدن تن تن به دادستانی او را ببرایند. همچنین این تبهکاران در  $C$  تا از شهرها خودروهایی دارند که می‌تواند مسافت بین دو شهر را در نصف زمان عادی طی کند و اگر تبهکاران به این شهرها برسند می‌توانند برای ادامه‌ی مسیر از این خودروها استفاده کنند. در صورتی که در زمان رسیدن تن تن به یک شهر، حداقل یکی از تبهکاران پیش از او به آن شهر رسیده باشد، تن تن ربوده می‌شود.

اگر تن تن می‌تواند مستقل از مسیری که توسط تبهکاران طی می‌شود از دست آن‌ها فرار کند و در زمان متناهی به شهر  $g$  برسد، کم‌ترین مدت زمانی که برای این کار نیاز دارد و مسیری که باید طی کند را چاپ کنید. در غیر این صورت عبارت Poor Tintin را چاپ کنید. توجه کنید که تن تن از محل تبهکاران و مسیری که آن‌ها طی می‌کنند، خبر ندارد.

### ورودی

در خط اول ورودی عدد  $K$  که تعداد تست‌هاست داده می‌شود.

در خط اول هر تست دو عدد  $N$  و  $M$  داده می‌شود که به ترتیب تعداد شهرها و تعداد جاده‌های کشور است. در هر کدام از  $M$  خط بعد سه عدد  $u$ ،  $v$  و  $d$  داده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی یک جاده‌ی دوطرفه از شهر  $u$  به  $v$  با مسافت  $d$  است.

خط پس از آن شامل یک عدد  $T$  است که تعداد تبهکاران را مشخص می‌کند و در خط پس از آن  $T$  عدد با فاصله  $a_1$  تا  $a_T$  قرار دارد که شهرهایی است که در ابتدا تبهکاران در آن قرار دارند.

در خط بعد  $C$  داده می‌شود و در خط پس از آن  $C$  عدد با فاصله  $b_1$  تا  $b_C$  قرار دارد که شهرهایی است که خودروها در آن قرار دارند.

در خط آخر شماره دو شهر  $s$  و  $g$  داده می‌شود.

### خروجی

شما باید  $K$  خط خروجی چاپ کنید.

به ازای هر تست در صورتی که تن تن نمی‌تواند فرار کند، تنها در یک خط عبارت «Poor Tintin» را چاپ کنید.

در غیر این صورت در خط اول کم‌ترین زمانی که تن تن در آن می‌تواند از شهر  $s$  به  $g$  برسد را چاپ کنید.

در خط دوم عدد  $p$  را چاپ کنید که تعداد شهرهایی است که در این مسیر طی می‌کند. (شامل  $s$  و  $g$ )

در خط آخر  $p$  عدد با فاصله چاپ کنید که شماره‌ی شهرهایی است که تن تن باید برای رسیدن به مقصد به ترتیب طی کند.

در صورت وجود داشتن چند مسیر با کم‌ترین زمان می‌توانید یکی را به دلخواه انتخاب کنید.

### محدودیت‌ها

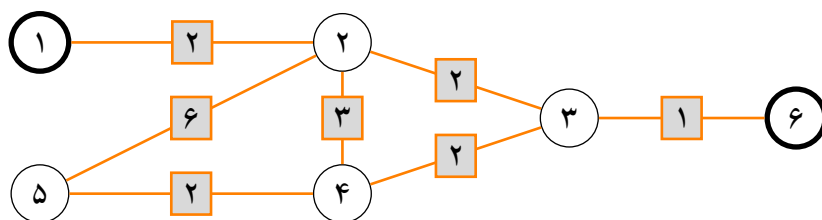
$$\begin{aligned} 1 &\leq K \leq 5 \\ 1 &\leq N \leq 5 * 10^4 \\ 1 &\leq M \leq \min(N * (N - 1) / 2, 10^5) \\ 1 &\leq T, C, u, v, s, g, a_i, b_i \leq N \\ 1 &\leq d \leq 10^5 \end{aligned}$$

## ورودی و خروجی نمونه

input	output
1	Poor Tintin
6 7	
1 2 2	
2 3 2	
2 4 3	
2 5 6	
3 4 2	
4 5 2	
3 6 1	
1	
5	
2	
2 4	
1 6	

input	output
1	5
6 7	4
1 2 2	1 2 3 6
2 3 2	
2 4 3	
2 5 6	
3 4 2	
4 5 2	
3 6 1	
1	
5	
1	
2	
1 6	

گراف ورودی در زیر آورده شده است:



در این گراف سریع‌ترین راهی که تن تن را به مقصد می‌رساند مسیر شهرهای ۱ به ۲ به ۳ به ۶ است که ۵ واحد زمانی طول می‌کشد. در هر دو مثال تبهکار در شهر ۵ قرار دارد. در مثال اول می‌تواند به شهر ۴ برود و در آن جا با استفاده از خودرو زودتر به شهر ۳ برسد و تن تن را برآید. اما در مثال دوم چون خودرویی در شهر ۴ وجود ندارد، نمی‌تواند زودتر از تن تن به شهرهای مسیری که طی می‌کند برسد.

۲. (۳۵ نمره) شخصیت جذاب داستان‌های انیمه Ryuzaki ملقب به L، با پازلی رو به رو شده است که ذهنش را بسیار درگیر کرده است. پازلی که با پازل‌های معمولی فرق دارد و به همین علت برای L جذابیت به همراه آورده است. صفحه این پازل  $n$  در  $m$  است. (طول ضلع عمودی  $n$  و طول ضلع افقی  $m$  است) و  $n * m$  تا تایل نیز وجود دارد که باید به نحوی صفحه پازل را پر کنند. فرقی که این پازل با بقیه دارد در این است که می‌توان هر تایل را در هر جای دلخواهی (البته تحت شرایطی خاص) وارد صفحه پازل کرد. یعنی امکان دارد که چند جای کاندید برای هر تایل وجود داشته باشد. هر تایل یک مربع است که روی چهار وجه آن عددی وجود دارد. به طوری که عدد روی هر وجه مستقل از بقیه وجوه است. نحوه پر کردن پازل به این صورت است که:

- اولین تایل را که در خط دوم ورودی داده می‌شود را می‌توان هر جای دلخواهی از صفحه، بدون هیچ هزینه‌ای، قرار داد.
- بقیه  $n * m - 1$  تایل باقی‌مانده را تنها در صورتی می‌توان وارد صفحه پازل کرد که بتوان آن را به یکی از تایل‌های درون صفحه چسباند. فرض کنید می‌خواهیم تایل A را به سمت چپ تایل B بچسبانیم. چون تایل‌ها چرخش ناپذیرند پس این جمله معادل آن است که سمت راست تایل A به سمت چپ تایل B بچسبد و در صورتی می‌توان این اتفاق را رقم زد و تایل A را وارد صفحه پازل کرد که اولاً سمت چپ تایل B خالی باشد و همچنین تایل B در ستون اول صفحه پازل قرار نداشته باشد و ثانیاً عدد روی وجه راست A با عدد روی وجه چپ B یکسان باشد. این فرایند به اندازه عدد روی همان وجه (در اینجا عدد روی وجه سمت راست A یا همان عدد روی وجه سمت چپ B) برای L هزینه بردار است.

چون L درگیر یافتن Kira است از شما خواسته تا حالتی از پر کردن پازل را پیدا کنید که کم‌ترین هزینه را برای او داشته باشد.

نکته ۱: اولین تایلی که در خط دوم به شما داده می‌شود را باید در همان ابتدا که صفحه پازل خالی است وارد صفحه کنید و می‌توانید بدون هیچ هزینه‌ای آن را در هر جای صفحه پازل قرار دهید. بقیه تایل‌ها نیاز به ترتیب ورود به صفحه ندارند. یعنی می‌توانید هر کدام را که مایل بودید و شرایط ورود به صفحه پازل را داشت انتخاب کنید و در جای مناسب قرار دهید.

نکته ۲: تضمین می‌شود که پازل حداقل یک روش برای ساخته شدن را دارد.

### ورودی

در خط اول ورودی ابتدا دو عدد که به ترتیب نمایانگر  $n$  و  $m$  هستند، به شما داده می‌شود. سپس در  $n * m$  خط بعدی، در هر خط چهار عدد داده می‌شود که به ترتیب عدد روی وجه بالا، راست، پایین و چپ تایل هستند.

### خروجی

در تنها خط خروجی، کمترین هزینه‌ای که ساخت این پازل برای L دارد را چاپ کنید.

### ورودی و خروجی نمونه

input	output
2 2	461
598 285 679 63	
943 668 74 285	
679 102 781 296	
74 702 184 102	