תרגיל בית 1 - מבוא לבינה מלאכותית 236501

בני נזימוב 314862129
ליעד ארם 315695783

1.

$$k! \cdot (m+1)^k \cdot m$$

כאשר $k!$ זה מתן סדר לדירות, $(m+1)^k$ מספר האופציות לביקור\חוסר ביקור במעבדות בין כל שתי דירות ולפני הדירה הראשונה, ו-m זה מספר האופציות לסיים במעבדה.

2.

3.

K	M	#possiblePaths	Estimated calculation time
7	2	22.04×10^6	$18.47[s]$
7	3	24.77×10^7	$3.8[mins]$
8	3	79.27×10^8	$2.3[hours]$
8	4	63×10^9	$19.6[hours]$
9	3	28.54×10^{10}	$3.7[days]$
10	3	11.42×10^{12}	$5.3[months]$
11	3	50.27×10^{13}	$20.8[years]$
12	3	24.11×10^{15}	$1.1[thousand\ years]$
12	4	46.78×10^{16}	$22.1[thousand\ years]$
13	4	30.41×10^{18}	$1.5[million\ years]$

4.

ערך הקיצון המקסימלי הוא $k+m$ והוא יתקבל במצב בו לא ביקרנו באף אחת מהמעבדות ומספר המטושים באמבולנס קטן ממספר המטושים המקסימלי, וגם לא ביקרנו באף אחת מהדירות ומספר המטושים באמבולנס גדול מספיק כדי שנוכל לבקר בכל אחת מהן.
ערך הקיצון המינימלי הוא 0, והוא יתקבל במצב בו ביקרנו בכל הדירות, וביקרנו בכל המעבדות, וכעת אנו נמצאים במעבדה האחרונה שלה העברנו את כל המטושים שנשארו באמבולנס.

5.

לא ייתכנו מעגלים במרחב המצבים. מצב שבו ה$cur.loc$ מתאר דירה, אינו יכול להיות חלק ממעגל, כיוון שלא ניתן לבקר בדירה פעמיים. כלומר, מעגלים יכולים להתקבל רק ממצבים בהם המיקום $(cur.loc)$ מתאר מעבדות. נשים לב כי ביקור במעבדה מרוקן את קבוצת הבדיקות באמבולנס $(Taken)$ ולכן לא יתכן שנחזור למעבדה שבה מסרנו את הבדיקות. נשים לב כי בסיטואציה של רצף ביקורים במעבדות שבכולם ה$Taken$ הוא ריק, המצבים עדיין נבדלים במספר המטושים הזמינים באמבולנס, שכן אם ביקרנו במעבדה כאשר ה$Taken$ ריק מספר המטושים שלנו בהכרח יגדל ולכן מדובר על מצבים שונים. \\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\דרוש שינוי ניסוח?

6.

מרחב המצבים כפי שהוגדר הוא אינסופי, כיוון שאחד האיברים בחמישיה שמגדירה מצב הוא מספר מטושים באמבולנס ($Matoshim$), ומספר זה מוגדר להיות מספר טבעי כלשהו. בפועל, לא כל המצבים ישיגים, למשל מצבים בהם הערך $Matoshim$ גדול מסכום כל המטושים בכל המעבדות + מספר המטושים ההתחלתי, אינם ישיגים. זאת מכיוון שלקחנו את כל המטושים הזמינים במעבדות ואין לנו מאיפה לקבל עוד מטושים.

.7

כן. לדוגמא מצב $s \in S$ כך ש- $s.visitiedLabs = Labs$ (כלומר ביקרנו בכל המעבדות ולקחנו את כל המטושים הזמינים) אך $s.Matoshim < d_i.roomates$ לכל i עבורו לא ביקרנו בדירה ה-d_i.

.8

אורך המסלול המינימלי הוא $k+1$ קשתות, יתקבל כאשר $initialNrMatoshimAmb \geq \sum_{i=1}^{k} d_i.roomates$, וגם $ambulanceTestCapacity \geq \sum_{i\in[k]} d_i.roomates$, לכן נעבור על כל הדירות (k קשתות) ובסוף נסיים במעבדה כלשהי. סך הכל $k+1$ קשתות.
אורך המסלול המקסימלי (שמסתיים במצב סופי) מתקבל כאשר נבקר תחילה בכל המעבדות וניקח את כל המטושים הזמינים (m קשתות), ולאחר מכן נבקר במעבדה כלשהי פעם נוספת לאחר ביקור בכל דירה ($2k$ קשתות) כדי לשים את הבדיקות שאספנו מהדירה במעבדה. סך הכל נקבל מסלול באורך $2k+m$.
סך הכל הטווח הוא בין $k+1$ ל-$2k+m$.

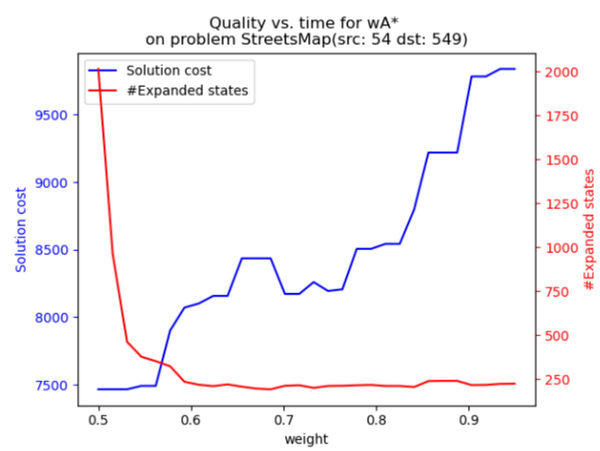
.9

$$
\begin{aligned}
Succ_{MDA}(s)=&\{(l_i,\emptyset,s.Taken\cup s.Transferred,s.Matoshim+l_i.matoshim,\{l_i\}\cup s.VisitedLabs)\mid i\in[m]\wedge s.Taken\neq\emptyset)\}\\
&\cup\{(l_i,\emptyset,s.Transferred,s.Matoshim+l_i.matoshim,\{l_i\}\cup s.VisitedLabs)\mid i\in[m]\wedge l_i\notin s.VisitedLabs\wedge s.Taken=\emptyset)\}\\
&\cup\{(d_i,\{d_i\}\cup s.Taken,s.Transferred,s.Matoshim-d_i.roomates,s.VisitedLabs)\mid\\
&\quad i\in[k]\wedge d_i\notin s.Taken\cup S.Transferred\wedge d_i.roomates\leq s.matoshim\wedge d_i.roomates\leq ambulanceTestCapcitiy-\textstyle\sum_{d\in s.Taken} d.roomates)\}
\end{aligned}
$$

.14

$$
\#dev\_saved\_percentage = \frac{\#dev\_blind - \#dev\_heuristic}{\#dev\_blind} = \frac{17354 - 2015}{17354} \cdot 100\% = 88.3888\%
$$

.16



הגרף האדום מתאר את מספר הפיתוחים, וככל שיש יותר פיתוחים זמן הריצה גבוה יותר. הגרף הכחול מתאר את איכות הפתרון. ניתן לראות כי ככל שנותנים לפונקציה היוריסטית משקל גבוה יותר כך זמן הריצה למציאת פתרון קטן, אך הפתרון פחות איכותי (יותר יקר). האזור הכדאי על פי הגרף הוא (בערך) $0.53 \leq w \leq 0.57$ מכיוון שבאזור יש ירידה חדה בזמן הריצה אך איכות הפתרון לא מתרחקת בהרבה מהפתרון האופטימלי.
נסתכל על $w_1 \approx 0.67$ ו-$w_2 \approx 0.7$. מתקיים כי $w_2 > w_1$ אך איכות הפתרון שמתקבלת עבור w_1 נמוכה יותר מאיכות הפתרון עבור w_2, כפי שנאמר בדגש.
כמו כן, נסתכל על $w_3 \approx 0.8$ ו-$w_4 \approx 0.87$, מתקיים כי $w_4 > w_3$ אך מספר הפיתוחים שמתקבל עבור w_3 נמוך יותר ממספר הפיתוחים עבור w_4, כפי שנאמר בדגש.

.19

החסרון של הגישה מבחינת יעילות הפתרון היה מתבטא בחוסר שימוש ב-$cache$. במימוש הנוכחי בבעיית המדא כאשר אנו פותרים את בעיית המפה כ"בעיית ביניים" יתכן כי הפתרון כבר נמצא ב-$cache$ ונוכל להביאו ולחסוך את עלות החישוב. אם היינו במרחב משולב שהוצע בשאלה, לא היינו יכולים להשתמש ב-$cache$ מכיוון שכל פעם היינו פותרים בעיה אחרת.

.20

.i

```python
@dataclass(frozen=True)
```

.ii
השורה הזאת אינה מספיקה, שכן אם אחד מהשדות הוא מבנה נתונים (למשל set או $list$) אז נוכל לשנות את הערכים בתוך המבנה.
כדי למנוע זאת השדות שהם מבני נתונים הוגדרו כ-$frozenset$, שזהו $immutable\ set$, כלומר set שלא ניתן לשנות את איבריו.

```python
current_site: Union[Junction, Laboratory, ApartmentWithSymptomsReport]
tests_on_ambulance: FrozenSet[ApartmentWithSymptomsReport]
tests_transferred_to_lab: FrozenSet[ApartmentWithSymptomsReport]
nr_matoshim_on_ambulance: int
visited_labs: FrozenSet[Laboratory]
```

.iii
כן, צומת יכול לעבור מ-$close$ ל-$open$ אם מצאנו מסלול יותר זול אליו מהמסלולים שמצאנו עד כה.

```
old_node ← find-state(s,CLOSED)
if old_node:                    ; A node with state s exists in CLOSED
   if new_g < old_node[g] :     ; New parent is better
      old_node[g] ← new_g
      old_node[parent] ← next
      old_node[f] ← old_node[g]+old_node[h]
      CLOSED ← CLOSED\{old_node}
      OPEN ← OPEN ∪ {old_node}; Move old node from CLOSED to OPEN
```

.iv
א למימוש שגוי של המתודה expand_state_with_costs היא: State_to_expand.tests_on_ambulance = state_to_expand.tests_on_ambuland | {apartment}
כלומר עדכון של שדה ספציפי ב-MDAState במקום יצירת MDAState חדש לגמרי בעזרת c'tor. מימוש זה בעייתי מכיוון שאנו עלולים להיתקל במצב מסוים בשנית גם לאחר שפיתחנו אותו כבר בעבר, כפי שצוין בסעיף לעיל. במקרה זה, אם ננסה לעדכן את MDAState מבלי ליצור אחד חדש מה שיקרה בפועל הוא שנדרוס את השדות של המצב בו כבר נתקלנו מכיוון שבפייתון אנחנו מחזיקים מצביע לאובייקט ולא מעתיקים אותו. כלומר, המצב שכרגע נמצא ב-close יתעדכן, וכאשר נחפש

מצב מתאים לעדכון ב-close לא נמצא אותו.

23.

נשים לב כי $h^*(n)$ היא הסכום המינימלי של כל המרחקים שנשאר לאמבולנס לעבור כדי לבקר בכל הדירות.
נוכיח כי לכל צומת n מתקיים $0 \leq h(n) \leq h^*(n)$.
מכיוון שמדובר במרחק, ברור כי $h(n) \geq 0$ לכל צומת n.
אם נשארה דירה אחת d לבקר בה, המרחק האווירי שלה מעצמה הוא 0 ולכן לפי הגדרת h נקבל: $h(n) = 0 \leq h^*(n)$.
אחרת, יהיו $d_1, d_2, ...d_k$ דירות אשר נשאר לאמבולנס לבקר בהן בשלב כלשהו בתכנית. נניח כי המרחק האווירי המקסימלי בין שתי דירות מכל זוגות הדירות הוא $\delta_{max}(d_i, d_j)$.
נשים לב כי בכל פתרון אופטימלי $h^*(n)$ האמבולנס יעבור במסלול שלו ב-d_i וב-d_j (נניח בה"כ שיעבור קודם ב-d_i) בדרך כלשהי, נסמנה $dist(d_i, d_j)$. לכן:

$$0 \leq h(n) \overset{(1)}{=} \delta_{max}(d_i, d_j) \overset{(2)}{\leq} dist(d_i, d_j) \overset{(3)}{\leq} h^*(n)$$

כאשר מעבר (1) נובע מהגדרת הפונקציה היוריסטית $h(n)$, מעבר (2) נובע מאי-שוויון המשולש, ומעבר (3) נובע מכך ש-$dist(d_i, d_j)$ הוא חלק מהמסלול האופטימלי. לכן היוריסטיקה קבילה.

26.

היוריסטיקה אינה קבילה, נפריך באמצעות דוגמא נגדית:

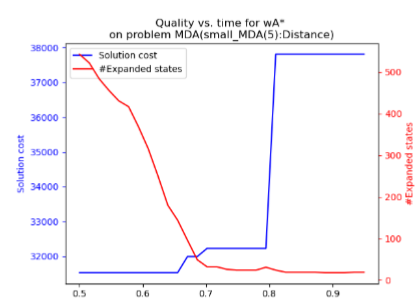
29.

נשים לב כי $h^*(n)$ היא הסכום המינימלי של כל המרחקים שנשאר לאמבולנס לעבור כדי לבקר בכל הדירות.
נוכיח כי לכל צומת n מתקיים $0 \leq h(n) \leq h^*(n)$.
מכיוון שמדובר במרחק, ברור כי $h(n) \geq 0$ לכל צומת n.
אם נשארה דירה אחת d לבקר בה, העץ הפורש מכיל רק אותה, ולכן ערכו 0. נקבל לפי הגדרת h: $h(n) = 0 \leq h^*(n)$.
אחרת, יהיו $d_1, d_2, ...d_k$ דירות אשר נשאר לאמבולנס לבקר בהן בשלב כלשהו בתכנית.
נסמן ב-G את הגרף המלא שצמתיו הן הדירות שנשאר לאמבולנס לעבור בהן, ומשקלי הקשתות הן המרחק האווירי בין הצמתים שהן מחברות.
נשים לב כי כל פתרון אופטימלי $h^*(n)$ עובר בכל הדירות ובפרט פעם אחת בכל דירה. נניח כי הפתרון הוא $P : d_1 \rightarrow .... \rightarrow d_k$
נסמן ב-T את הגרף המושרה המתקבל על ידי המסלול P בגרף G.
מעצם בנייתו, T הינו שרוך ולכן בפרט עץ פורש לגרף G. נסמן ב-T^* עץ פורש מינימום לגרף G. נקבל:

$$0 \leq h(n) \overset{(1)}{=} w(T^*) \overset{(2)}{\leq} w(T) \overset{(3)}{\leq} w(P) = h^*(n)$$

כאשר מעבר (1) נובע מהגדרת הפונקציה היוריסטית $h(n)$, מעבר (2) נובע ממינימליות T^*, ומעבר (3) נובע מכך שלכל $d_i \rightarrow d_{i+1}$ במסלול P, מתקיים כי $\delta(d_i, d_{i+1}) \leq dist(d_i, d_{i+1})$ כאשר δ הוא המרחק האווירי בין הצמתים ו-$dist$ הוא המרחק במסלול. לכן היוריסטיקה קבילה.

30.



האזור הכדאי על פי הגרף הוא (בערך) $0.65 \leq w \leq 0.8$ מכיוון שבאזור יש ירידה חדה בזמן הריצה אך איכות הפתרון לא מתרחקת בהרבה מהפתרון האופטימלי.

.31