

מבוא לבינה מלאכותית - 236501

תרגיל בית 1

מרחבי חלל



מטרות התרגיל

- נתמודד עם בעיות פרקטיות ותיאורטיות של חיפוש במרחבי מצבים.
- נתרגל את הנלמד בהרצאות ובתרגולים.
- נתנסה בתכנות ב-python לפתרון בעיות פרקטיות.

הנחיות כלליות

- תאריך הגשה: מוצאי שבת, 1.12.2022, בשעה 23:59.
- את המטלה יש להגיש **בזוגות בלבד**.
- יש להגיש מטלות מוקלדות בלבד. פתרונות בכתב יד לא ייבדקו.
- ניתן לשלוח שאלות בנוגע לתרגיל **בפיאצה** בלבד.
- המתרגלת האחראית על תרגיל: **טל חקלאי**.
- בקשות דחיה **מוצדקות** (מילואים, אשפוז וכו') יש לשלוח למתרגל האחראי (ספיר טובול) בלבד.
- במהלך התרגיל ייתכן שנעלה עדכונים, למסמך הנ"ל – תפורסם הודעה בהתאם.
- העדכונים הינם **מחייבים**, ועליכם להתעדכן עד מועד הגשת התרגיל.
- שימו לב, התרגיל מהווה כ- 10% מהציון הסופי במקצוע **ולכן העתקות תטופלנה בחומרה!**
- ציון המטלה יורכב מהגורמים הבאים:
 - 60% - המסמך היבש. מעבר לתשובות הנכונות, אתם נבחנים גם על הצגת הנתונים והתוצאות בצורה קריאה ומסודרת במקומות בהם התבקשתם לכך. הניקוד המפורט בסעיפים של מסמך זה הינו מתוך הציון היבש בלבד.
 - 40% - הקוד המוגש. הקוד שלכם ייבדק באופן מקיף ע"י טסטים. הטסטים יבדקו את התוצאות שלכם לעומת התוצאות המתקבלות במימוש שלנו. אנו מצפים שתקבלו את אותם הערכים בדיוק. נבדוק בין היתר את המסלול המתקבל, את עלותו ואת מס' הפיתוחים. לכן עליכם להיצמד להוראות בתרגיל זה. הבדיקות יהיו כמובן מוגבלות בזמן ריצה. יינתן לכם זמן סביר ביותר להרצת כל טסט. אם תעקבו אחר ההוראות במסמך זה ובקוד אין סיבה שלא תעמדו בזמנים אלו. בנוסף, יש להקפיד על הגשת קוד מסודר בהתאם להנחיות. יש לכתוב הערות במקומות חשובים בקוד כדי שיהיה קריא וקל לבדיקה ידנית.
- אנו יודעים שעבור חלקכם זו התנסות ראשונה בכתיבת קוד בפיתון ותרגיל זה מתוכנן בהתאם לכך.
- שימו לב שלא יענו שאלות בסגנון: "איך מוצאים את עלות הפתרון שהוחזר?" / "איך ניגשים למפות הכבישים מתוך המימוש של הפונק' ההיא?" / "באיזה שדה שמור ה...?" וכדומה.
- אנחנו רוצים לעודד אתכם לעיין בקוד ולמצוא פתרונות אלו בכוחות עצמכם. הכרת סביבת העבודה שסיפקנו לכם והתמצאות בה הן למעשה חלק מהתרגיל.
- בתרגילי הבית בקורס הרצת הניסויים עשויה לקחת זמן רב. לכן מומלץ מאוד להימנע מדחיית העבודה על התרגיל ו/או כתיבת הדו"ח לרגע האחרון. לא תינתנה דחיות על רקע זה.
- מסמך זה כתוב בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד, אך מתייחס לנשים וגברים כאחד.

אנחנו קשובים לפניית שלכם במהלך התרגיל ומעדכנים את המסמך הזה בהתאם. גרסאות עדכניות של המסמך יועלו לאתר. **הבהרות** **ועדכונים שנוספים אחרי הפרסום הראשוני יסומנו כאן בצהוב**. בנוסף, לכל עדכון יהיה מספר גרסה כדי שתוכלו לעקוב. ייתכן שתפורסמה גרסאות רבות – אל תיבהלו מכך. השינויים בכל גרסה יכולים להיות קטנים.

חלק א' – מבוא

במטלה זו נעסוק בהפעלת אלגוריתמי חיפוש על מרחבי מצבים לבעיות ניווט. מומלץ לחזור על שקפי ההרצאות והתרגולים הרלוונטיים לפני תחילת העבודה על התרגיל.

במהלך התרגיל תתבקשו להריץ מספר ניסויים ולדווח על תוצאותיהם. אתם נדרשים לבצע ניתוח של התוצאות, כפי שיוסבר בהמשך.

סיפור מסגרת

ריק ומורטי יצאו לעוד אחת מההרפתקאות שלהם והפעם ריק לקח את מורטי לסיור בבר הגאוזורפאזור בכוכב הלכת 9-טאוב. לאחר שריק הופך למלפפון חמוץ ונקלע לקטטה עם יצור מזן בלארפ הם בורחים מחוץ לבר. ריק מתכוון להשתמש באקדח הפורטל שלו כדי לחזור הביתה (אקדח שפותח שער ירוק שדרכו אפשר להשתגר למקומות שונים), אבל הוא מגלה שאזל לו דלק אקדחי הפורטל. מורטי זוכר שיש מאגר דלק שנמצא בקצהו של האגם הקפוא, הבעיה היא שצריך לחצות את האגם. והוא מלא בחורים (Holes, not Guys).

למזלם של ריק ומורטי אתם לוקחים הסמסטר את הקורס "מבוא לבינה מלאכותית". הם מבקשים מכם לעזור להם לתכנן את המסלול הטוב ביותר אל מאגר הדלק.



חלק ב' – מתחילים לתכנת (40 נקודות)

משימה – רטוב

לפני שמתחילים בבקשה צפו בסרטון [זה](#).

קעת נעבור לחלק הרטוב של התרגיל. אנו נעבוד בסביבה שבנינו לתרגיל זה על בסיס הסביבה Frozen-Lake שפותחה ע"י OpenAI.

את החלק הרטוב אתם צריכים לפתור במחברת ב-236501-hw1.ipynb. אנחנו ממליצים לעבוד ב-[Google Colab](#). כדי לעשות זאת עליכם להעלות את תוכן התיקיה של התרגיל לתוך תיקייה ב-Drive האישי שלכם. לאחר מכן פתחו את המחברת דרך Google Colab ופעלו לפי ההוראות.

מומלץ לעבור על הקוד במחברת במקביל לקובץ הנוכחי וככה שלב שלב לענות על השאלות השונות.

אין לעשות import לסיפירות שלא הוגדרו בתרגיל ולא ניתן להן אישור ב-piazza. ניתן אישור להשתמש ב:

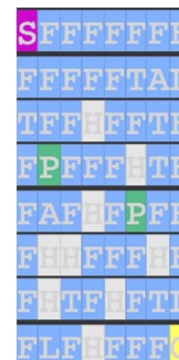
```
from collections import deque
import operator
```

חלק ג' – שאלות יבשות על הרטוב (48 נקודות)

התחילו לענות על חלק זה רק לאחר שהבנתם את סביבת העבודה.

שאלה 1 – מבוא (8 נק'):

השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת אלא אם נכתב אחרת:



1. **רטוב:** עברו על המחברת עד שאתם מגיעים לחלק של BFS-G ועיצרו שם.
2. יבש (1 נק'): תחילה נרצה להגדיר את מרחב החיפוש כפי שנלמד בתרגול. הגדר את $(S, 0, I, G)$ עבור סביבת האגם הקפוא. מה גודל מרחב המצבים S? הסבירו.
3. יבש (1 נק'): מה תחזיר לנו הפונקציה Domain על אופרטור 2 (UP)?
4. יבש (1 נק'): מה תחזיר לנו הפונקציה Succ על המצב ההתחלתי 0?
5. יבש (1 נק'): האם קיימים מעגלים במרחב החיפוש שלנו?
6. יבש (1 נק'): מה הוא מקדם הסיעוף בבעיה?
7. יבש (1 נק'): במקרה הגרוע ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן random (כפי שממומש במחברת) להגיע למצב הסופי?
8. יבש (1 נק'): במקרה הטוב ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן random (כפי שממומש במחברת) להגיע למצב הסופי?
9. יבש (1 נק'): עבור לוח כללי, כאשר המצב ההתחלתי והסופי נמצאים בקצוות הלוח (בדומה ללוח "8X8"), האם סוכן שמחפש את המסלול הקצר ביותר יחליט תמיד לעבור דרך ה-portal?

שאלה 2 – BFS-G (7 נק'):

השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת אלא אם נכתב אחרת.

1. **רטוב:** ממשו את אלג' BFS-G (על גרף) במחברת ע"פ ההנחיות המופיעות שם.
2. יבש (1 נק'): מה צריך להיות התנאי על גרף החיפוש (לא בהכרח בבעיית האגם הקפוא) כך ש-BFS על גרף ו-BFS על עץ ייצרו ויפתחו צמתים זהים באותו הסדר?

3. יבש (2 נק'): עבור הלוח "4x4" שמופיע במחברת, ציירו את גרף המצבים.
4. יבש (2 נק'): נתון לוח בגודל NxN שלא מכיל portals. הציעו דרך להשתמש באלגוריתם BFS-G כך שיחזיר פתרון אופטימלי (עלות מינימלית) והסבירו.
- רמז: עליכם לספק פונקציה $T: G \rightarrow G'$ המקבלת את גרף המצבים G ויוצרת גרף חדש G' ובעזרתה למצוא את המסלול האופטימלי בגרף G .
5. יבש (2 נק'): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, ללא Portals, המכיל N-2 משבצות רגילות (F,T,A,L) ושתי משבצות של מצב סופי ומצב התחלתי. כמה צמתים יפותחו וייוצרו במהלך חיפוש BFS-G? הסבירו?

שאלה 3 – DFS-G (6 נק'):

1. **רטוב:** ממשו את אלג' DFS-G.
2. יבש (1 נק'): עבור בעיית האגם הקפוא עם לוח NxN, האם האלגוריתם שלם? האם הוא קביל?
3. יבש (1 נק'): האם אלגוריתם DFS (על עץ), עבור בעיית האגם הקפוא על לוח NxN, היה מוצא פתרון כלשהו? אם כן, מה המסלול שיתקבל? אם לא, כיצד האלגוריתם היה פועל?
4. יבש (2 נק'): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, ללא Portals, המכיל N-2 משבצות רגילות (F,T,A,L) ושתי משבצות של מצב סופי ומצב התחלתי. כמה צמתים יפותחו וייוצרו במהלך חיפוש DFS-G? הסבירו?
5. יבש (2 נק'): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, ללא Portals, המכיל N-2 משבצות רגילות (F,T,A,L) ושתי משבצות של מצב סופי ומצב התחלתי. כמה צמתים יפותחו וייוצרו במהלך חיפוש Backtracking-G? הסבירו?

שאלה 4 – ID-DFS-G (5 נק'):

- השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת אלא אם נכתב אחרת.
1. **רטוב:** ממשו את החלקים החסרים של אלג' ID-DFS-G בקובץ ע"פ ההנחיות המופיעות שם.
 2. יבש (1 נק'): האם האלגוריתם ID-DFS-G שלם?
 3. יבש (2 נק'): נניח כי עלות כל פעולה היא 1, האלגוריתם ID-DFS-G לא קביל. הסבירו מדוע. בנוסף, הציעו דרך לעדכן את האלגוריתם על מנת שיהיה קביל במקרה הזה.
 4. יבש (2 נק'): הציעו גרף המראה את השפעת L (לפחות 5 ערכים שונים) על מספר הצמתים שמפותחים בכל העמקה. הסבירו בקצרה את הגרף.

שאלה 5 – UCS (4 נק'):

- השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת אלא אם נכתב אחרת.
1. **רטוב:** ממשו את החלקים החסרים של אלג' UCS בקובץ ע"פ ההנחיות המופיעות במחברת.
 2. יבש (1 נק'): עבור אילו בעיות חיפוש אלגוריתם UCS ואלגוריתם BFS יפעלו באותו האופן? הסבירו.
 3. יבש (1 נק'): האם בבעיית החיפוש שלנו, עבור לוח NxN, האלגוריתם הוא שלם? האם הוא קביל?
 4. יבש (2 נק'): דן טעה במימוש של אלגוריתם UCS ובטעות בדק בעת יצירת הצומת האם היא צומת מטרה במקום בפיתוח שלה. הביאו דוגמה לגרף חיפוש שעבורו דן יחזיר בכל זאת את המסלול הקל ביותר ודוגמה לגרף חיפוש שעבורו דן לא יחזיר את המסלול הקל ביותר. עבור כל דוגמה הסבירו מה המסלול והעלות ש-UCS השגיר, החזיר, ומה המסלול והעלות שהאלגוריתם הנכון היה מחזיר. נדגיש שגרף החיפוש לא בהכרח צריך לייצג את בעיית האגם הקפוא. אתם יכולים לתת דוגמה לגרף שמייצג בעיית חיפוש אחרת. הגרף צריך להכיל קשתות מכוונות ואת העלות של כל קשת.

שאלה 6 – יוריסטיקה (2 נק'):

נגדיר יוריסטיקה חדשה:

$$h_{SAP}(s) = \min\{h_{Manhattan}(s, g), Cost(p)\}, g \in G$$

כאשר הביטוי הראשון הוא מרחק מנהטן מהמצב הנוכחי למצב הסופי והביטוי היא עלות קשת המביאה למשבצת שיגור.

1. יבש (1 נק'): האם היוריסטיקה קבילה על כל לוח? אם כן הסבר, אם לא הבא קודמה נגדית.
2. יבש (1 נק'): האם היוריסטיקה עקבית על כל לוח? אם כן הסבר, אם לא הבא דוגמה נגדית.

שאלה 7 – Greedy Best First Search (3 נק'):

השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת אלא אם נכתב אחרת.

1. **רטוב:** ממשו את החלקים החסרים באלג' Greedy Best First Search בקובץ ע"פ ההנחיות המופיעות במחברת. עליכם להשתמש ביוריסטיקה h_{SAP} .
2. יבש (1 נק'): האם האלגוריתם שלם? האם הוא קביל?
3. יבש (2 נק'): תנו יתרון וחיסרון של אלגוריתם Greedy Best first Search לעומת UCS.

שאלה 8 – W-A* (7 נק'):

השאלות בחלק זה מתבססות על הלוח "8x8" שמופיע במחברת.

1. **רטוב:** ממשו את החלקים החסרים באלג' W-A* בקובץ ע"פ ההנחיות המופיעות שם. עליכם להשתמש ביוריסטיקה h_{SAP} .
2. יבש (4 נק'): לפניכם מספר יוריסטיקות, הוכיחו או הפריכו בעזרת דוגמה נגדית את קבילותן של היוריסטיקות:
 - a. $GreedyHeuristic(s) = 0$ if s is goal, else 1
 - b. $h_{MD}(s) = h_{Manhattan}(s, g), g \in G$
 - c. $NearestPortalOrGoalHeuristic(s) = \min\{h_{Manhattan}(s, p_1), h_{Manhattan}(s, p_2), h_{Manhattan}(s, g)\}, g \in G$ כאשר p_1, p_2 הם משבצות שיגור ($p_1 \neq p_2$) ו- g הוא צומת מטרה.
 - d. $NearestPortalToFinalHeuristic(s) = NearestPortalOrGoalHeuristic(s) + h_{Manhattan}(p_1, p_2)$
3. יבש (נק' 1): איזו יוריסטיקה (מבין הקבילות) היא המיועדת ביותר (כולל היוריסטיקה h_{SAP})?
4. יבש (נק' 2): הריצו את W-A* עם ערכי W שונים והציגו שני גרפים:
 - a. גרף 1: מספר הפיתוחים כתלות ב-W.
 - b. גרף 2: עלות הפתרון שנמצא כתלות ב-W.
 ניתן לצייר את הגרף ביד או במחשב. הסבירו כל גרף בנפרד וגם את הקשר ביניהם.

שאלה 9 – A*-epsilon (6 נק'):

1. **רטוב:** ממשו את החלקים החסרים באלג' A*-epsilon בקובץ ע"פ ההנחיות המופיעות שם. עליכם להשתמש ביוריסטיקה h_{SAP} כדי ליצור את FOCAL וב- $g(v)$ כדי לבחור את הצומת הבא לפיתוח מתוך FOCAL.
2. יבש (2 נק'): תנו וחיסרון של A*-epsilon לעומת A*.
3. יבש/רטוב (4 נק'): תנו הצעה ליוריסטיקה כדי לבחור את הצומת הבאה לפיתוח מתוך FOCAL. תארו את היוריסטיקה והציגו השוואה בין השימוש ביוריסטיקה זו לעומת השימוש ב- $g(v)$, מבחינת מספר פיתוחים, מסלול שנבחר ועלות המסלול שנבחר. שימו לב- בקוד שאתם מגישים על הסוכן להשתמש ב- $g(v)$ ולא ביוריסטיקה שבחרתם בסעיף זה.

חלק ד' – שאלות בסגנון מבחן (12 נקודות)

1. וריאציות של A* (6 נק')

1. נגדיר n' להיות צומת האב של צומת n בגרף. כמו כן נניח ש- h היא יוריסטיקה קבילה שאיננה יוריסטיקת האפס וכן קיים במרחב מצב מטרה ישיג מהמצב ההתחלתי.

עבור כל אחד מהאלגוריתמים הסבר האם הוא שלם והאם הוא קביל:

 - a. A^* כפי שנלמד בהרצאה.
 - b. A^* שמתעלם מערך ה- h .
 - c. A^* שמתעלם מערך ה- g .
 - d. A^* כך ש- $f(n) = g(n) + h(n')$
 - e. A^* כך ש- $f(n) = g(n') + h(n)$
2. כעת נתון $0.5 \leq w_1 < w_2 \leq 1$. נסמן P_1, P_2 להיות המסלולים המוחזרים מריצת W-A* עם המשקלים w_1, w_2 בהתאמה. תזכורת לחישוב $f(n) = w * h(n) + (1 - w) * g(n)$. הוכח/הפריך: $cost(P_1) \leq cost(P_2)$.
3. הוכח/הפריך: לכל בעיית חיפוש, המסלול שיחזור על ידי אלגוריתם UCS יכול להשתנות אם נספיק ערך קבוע $C > 0$ לכל עלות קשת במהלך החיפוש.
4. הוכח/הפריך: לכל בעיית חיפוש, המסלול שיחזור על ידי אלגוריתם UCS יכול להשתנות אם נכפיל ערך קבוע $C > 0$ כל עלות קשת במהלך החיפוש.

2. ריק ומורטי (6 נק')

- ריק ומורטי הלכו לאיבוד באגם הקפוא שלנו, שגודלו $N \times N$. הם מעוניינים להיפגש, לא משנה באיזו משבצת, העיקר שעלות המסלול עד למפגש שלהם תהיה הזולה ביותר. בכל תור, כל אחד מהם מבצע את אחד מהצעדים הבאים (ימינה, שמאלה, למטה, למעלה, צעד במקום). הניחו שכעת בלוח יש שני מצבים התחלתיים s_1, s_2 .

1. הגדירו את (S, O, I, G) .
2. הגדירו את ה- $Domain$ לאחד האופרטורים לבחירתכם.
3. הגדירו את פונקציית ה- $Succ$ למצב ההתחלתי.
4. הציעו יוריסטיקה קבילה (שאינה יוריסטיקה ה-0).

חלק ה' – הגשת המטלה

מעבר למימוש ולדו"ח, ציונכם מורכב גם מהגשה תקינה של המטלה לפי הכללים הבאים:

1. יש לכתוב קוד ברור:
 - a. קטעי קוד מסובכים או לא קריאים יש לתעד.
 - b. לתת שמות בעלי משמעות למשתנים.
 2. הדוח:
 - a. יש לכתוב בדוח את תעודת הזהות של שני המגשים.
 - b. הדו"ח צריך להיות מוקלד במחשב ולא בכתב יד. הדוח צריך להיות בפורמט pdf.
 - c. יש לשמור על סדר וקריאות בתוך הדו"ח.
 - d. אלא אם נכתב אחרת יש לנמק את התשובות.
 3. הגשה:
 - a. יש להעלות לאתר קובץ zip בשם: AI1_123456789_123456789.zip (עם תעודות הזהות שלכם במקום המספרים).
 - b. בתוך ה-`zip` צריך להיות:
 - i. הדו"ח הסופי בפורמט pdf בשם AI1_123456789_123456789.pdf.
 - ii. קובץ ה-notebook בשם: AI1_123456789_123456789.ipynb.
- שימו לב: הקוד שלכם ייבדק ע"י מערכת בדיקות אוטומטיות תחת מגבלות זמני ריצה. במידה וחלק מהבדיקות יכשלו (או לא יעצרו תוך זמן סביר), הניקוד עבורן יורד באופן אוטומטי. לא תינתן הזדמנות להגשות חוזרות. אנא דאגו לעקוב באדיקות אחר הוראות ההגשה. שימו לב כי במהלך חלק מהבדיקות ייתכן שחלק מהקבצים שלכם יוחלפו במימושים שלנו. אם עקבתם אחר כל הדגשים שפורטו במסמך זה -עניין זה לא אמור להוות בעיה.
- לא תתאפשרנה הגשות חוזרות, גם לא בגלל טעות טכנית קטנה ככל שתהיה. אחריותכם לוודא טרם ההגשה שהתרגיל רץ בסביבה שהגדרנו ושהקוד עומד בכל הדרישות שפירטנו.
- אנא עברו בשנית על ההערות שפורסמו בתחילת מסמך זה. וודאו שאתם עומדים בהם.
- שימו לב: **העתקות תטופלנה בחומרה.** אנא הימנעו מאי-נעימויות.

מקווים שתיהנו מהתרגיל!

