**מבוא לבינה מלאכותית - 236501**

**תרגיל בית 1**

**מרחבי חיפוש**

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, 24.5, בשעה 23:59.

· את המטלה יש להגיש **בזוגות בלבד**.

· יש להגיש מטלות מוקלדות בלבד בעברית או באנגלית. פתרונות בכתב יד לא ייבדקו.

· ניתן לשלוח שאלות בנוגע לתרגיל [**בפיאצה**](https://piazza.com/technion.ac.il/spring2023/236501) **בלבד**.

· המתרגל האחראית על תרגיל: **רון בן שטרית**.

· 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- 15% מהציון הסופי במקצוע **ולכן העתקות תטופלנה בחומרה!**

· ציון המטלה יורכב מהגורמים הבאים:

o **65% - המסמך היבש.**

o **35% - הקוד המוגש.**

· 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 פרטים 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 תינתנּה דחיות על רקע זה.

· מסמך זה כתוב בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד, אך מתייחס לנשים וגברים כאחד.

אנחנו קשובים לפניות 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 שתפורסמנה גרסאות רבות – אל תיבהלו מכך. השינויים בכל גרסה יכולים להיות קטנים.

**הנחיות לחלק היבש**

1. ככלל אצבע, בהינתן שאלה ראשית ספקו את התשובה המיידית ולאחר מכן תרחיבו ותסבירו. למשל, אם שואלים מה סיבוכיות הזמן של אלגוריתם BFS תשובה תהיה ״, מכיוון שבקרה הכי גרוע נאחסן את כל עץ החיפוש של הבעיה בCLOSE״.

**הנחיות לחלק הרטוב**

1. אנו מעודדים אתכם לעבור על הקבצים המצורפים ולהבין כיצד הסביבה בנויה ובאילו פונקציות תוכלו להשתמש במימוש שלכם.
2. הקוד שלכם ייבדק בקפדנות על ידי טסטים. הטסטים יבדקו את הפתרונות המוחזרים על ידי האלגוריתמים שלכם אל מול המימוש שלנו על פני בעיות שונות. אנו מצפים ממכם (אלא אם צוין אחרת) להחזיר את אותם ערכים בדיוק. אנחנו נבדוק את המסלול המוחזר, מספר הצמתים שפתחו ואת עלות הפתרון המוחזר. הטסטים יהיו מוגבלים בזמן אך תקבלו זמן גדול מאוד לכל טסט.
3. ספקו קוד ברור ונקי הניתן לבדיקה ידנית.

## **מבוא ורקע**

התרגיל מתפרש על פני מסמך זה והמחברת המצורפת. מומלץ לענות על השאלות לפי הסדר במסמך זה.

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

### סיפור מסגרת

ריק ומורטי יצאו לעוד אחת מההרפתקאות שלהם והפעם ריק לקח את מורטי לסיור בבר הגאזורפאזור 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.



### 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 עבור סביבת האגם הקפוא. כאשר זה מרחב המצבים, , זה מרחב האופרטורים, , זה המצב ההתחלתי ו הוא קבוצת מצבי המטרה. 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 כללי להגיע למצב הסופי?
  8. יבש (1 נק׳): במקרה הטוב ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן כללי להגיע למצב הסופי?
  9. יבש (1 נק׳): עבור לוח כללי בסביבת ה frozen lakeהמסלול הקל ביותר הוא המסלול שמגיע למצב מטרה שהכי קרוב למצב ההתחלתי (במונחים של manhattan distance)? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמא נגדית.

### שאלה 2 – Breadth First Search-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 שBFS 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 המקבלת את גרף המצבים ויוצרת גרף חדש ובעזרתה למצוא את המסלול האופטימלי בגרף .
  1. יבש (2 נק׳): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, ללא Portals, המכיל משבצות רגילות (F,T,A,L) מצב התחלתי בפינה השמאלית עליונה ומצב מטרה בפינה הימנית תחתונה. כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש BFS-G? הסבירו?

### שאלה 3 – Depth First Search-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 משבצות רגילות (F,T,A,L) מצב התחלתי בפינה השמאלית עליונה ומצב מטרה בפינה הימנית תחתונה. כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש  DFS-G? הסבירו?
5. יבש (2 נק׳): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, ללא Portals, המכיל משבצות רגילות (F,T,A,L) מצב התחלתי בפינה השמאלית עליונה ומצב מטרה בפינה הימנית תחתונה. כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש backtracking DFS-G? הסבירו?

### שאלה 4 – DFS-L (6 נק׳):

1. יבש (6 נק׳): ג׳רי רוצה למצוא מסלול בסביבת האגם הקפוא עם DFS-L. ידוע כי אורך המסלול הקצר ביותר לצומת מטרה הוא אך ריק מגביל את החיפוש של ג׳רי לעומק .
   1. יבש (2 נק׳): הציעו שינוי **לבעיית החיפוש** כך שג׳רי יוכל למצוא פתרון מבלי להפר את הגבלת העומק שריק הטיל עליו. הסבירו למה כעת ניתן למצוא פתרון.
   2. יבש (1נק׳): האם השתנה מקדם הסיעוף? מה מקדם הסיעוף החדש ? אם כן רשמו את התשובה כתלות ב (מקדם הסיעוף בבעיה המקורית).
   3. יבש (1נק׳): מה סיבוכיות הזמן והמקום החדשים? ענו במונחים של והשוו את התשובה לDFS-L רגיל עם עומק . כיצד תשובתכם היתה משתנה עם היינו משתמשים בDFS-L עם בקטרקינג?
   4. יבש (2 נק׳): ספקו דוגמא לבעיה שבה DFS-L במרחב החיפוש החדש (לאחר השינויים שביצעתם בa) יותר טובה מאשר DFS-L במרחב החיפוש הקודם ודוגמה לבעיה שבה שבה DFS-L במרחב המקורי עדיף. בתשובתכם התייחסו למספר צמתים שפותחו. דוגמאות יכולות להיות כלליות ולא בהכרח מסביבת ה frozen lake.

### שאלה 5 – ReverseDFS (6 נק׳):

1. יבש (6 נק׳): הניחו כי יש לנו ידע מקדים על חסם עליון למרחק למצב מטרה, נסמנן D. בת (Beth) הציעה את האלגוריתם חיפוש הבא:

**function ReverseDFS (*problem, D*):**

L D

result failure

**While** Not Interrupted:

*new\_result DFS-L (problem, L)*

*if new\_result = failure:*

*break*

L L - 1

result new\_result

**return** result

בשאלות הבאות הניחו כי יש מספיק זמן לסיום האיטרציה הראשונה.

* 1. (1 נק׳) האם האלגוריתם שלם? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית
  2. (1 נק׳) האם האלגוריתם אופטימלי? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית
  3. (2 נק׳) ספקו דוגמה בה ReverseDFS עדיף על ID-DFS ודוגמה בה ID-DFS עדיף על ReverseDFS. הדוגמאות יכולות להיות כלליות ולא בהכרח מסביבת התרגיל.
  4. (2 נק׳) הציעו כיצד ניצן לייעל את האלגוריתם. רמז: האם אתם יכולים לחשוב על צעד עדכון עדיף לL?

### שאלה 6 - 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 השגוי 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 7 - יוריסטיקות (8 נק׳):

1. יבש (1 נק׳): בהיתן שתי יוריסטיקות קבילות . האם קבילה? אם כן, הוכיחו. אם לא, הפריכו.
2. יבש (1 נק׳): בהיתן שתי יוריסטיקות קבילות . האם קבילה? אם כן, הוכיחו. אם לא, הפריכו.
3. יבש (1 נק׳): בהיתן שתי יוריסטיקות עקביות . האם עקבית? אם כן, הוכיחו. אם לא, הפריכו.
4. יבש (1 נק׳): בהיתן שתי יוריסטיקות עקביות . האם עקבית? אם כן, הוכיחו. אם לא, הפריכו.

נגדיר יוריסטיקה חדשה עבור בעיות עם מצב מטרה יחיד :

### 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.

נכליל את היוריסטיקה לבעיות עם מספר מצבי מטרה על ידי:

שימו לב שבמקרה זה אנחנו לוקחים את המינימום על פני כל צמתי היעד.

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 8 – 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 .
2. יבש (1 נק׳): האם האלגוריתם שלם? האם הוא קביל?
3. יבש (2 נק׳): תנו יתרון וחיסרון של אלגוריתם Greedy Best first Search לעומת Beam Search.

### שאלה 9 – W-A\* (2 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 .
2. (יבש 2 נק׳) בהינתן , נסמן את המסלולים המחוזרים על ידי W-A\* תחת הפורמולציה ב עבור בהתאמה. אזי עבור:
   1. יוריסטיקה קבילה . אם כן הסבירו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית.
   2. יוריסטיקה כללית (לא בהכרח קבילה) . אם כן הסבירו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית.

### שאלה 10 – IDA\* (2 נק׳):

1. **רטוב**: ממשו את החלקים החסרים באלג׳ IDA\* בקובץ ע״פ ההנחיות המופיעות שם. עליכם להשתמש ביוריסטיקה .
2. יבש (2 נק׳): ספקו יתרון וחסרון של IDA\* ביחס לA\*. באילו מקרים הייתם מעדיפים להשתמש בכל אחד מהם?

### שאלה 11 – A\* epsilon (6 נק׳):

1. יבש (2 נק׳): תנו יתרון וחיסרון של A\*-epsilon לעומת A\*.
2. יבש (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-, מבחינת מספר פיתוחים, מסלול שנבחר ועלות המסלול שנבחר.

### שאלה 12 – Benchmarking (2 נק׳):

בשאלה זאת נשווה בין אלגוריתמי חיפוש שונים על בעיות שונות. הריצו את החלק הרלוונטי במחברת ותיראו שנוצר קובץ csv. (ניתן לפתוח עם Excel).

1. **רטוב**: הריצו את החלק הרלוונטי במחברת ותיראו שנוצר קובץ csv. (ניתן לפתוח עם Excel).
2. יבש (2 נק׳): הסבירו את התוצאות. האם הן תואמות לציפיות שלכם? האם התוצאות היו משתנות עם יוריסטיקה יותר מיודעת? נתחו והסבירו את התוצאות במונחים של מספר פיתוחים, מסלול מוחזר ומחיר הפתרון. שימו לב שבסעיף זה אין תשובה נכונה או לא נכונה אבל נדרש ממכם לספק הסבר מפורט ומבוסס.

### שאלה 13 – Local Search (5 נק׳):

בהינתן מרחב המצבים הבא, כאשר הינו המצב ההתחלתי, הינה פונקציית ערך והערך עבור כל מצב מצוין בצומת. המטרה שלנו היא למצוא מצב שממקסם את ערך .

נשתמש באלגוריתם Stochastic Hill Climbing.

כמו כן ידוע כי .

1. יבש (1 נק׳): מה ההסתברויות למעבר מהצב ההתחלתי לכל אחד מהמצבים . רשמו את .
2. יבש (1 נק׳): מה הוא מספר הצעדים המקסימלי שהאלגוריתם יכול לבצע? צעד מוגדר כמעבר בין מצבים.
3. יבש (1 נק׳): בהיתן שבצעד הראשון האלגוריתם עבר למצב . האם האלגוריתם יתכנס למקסימום הגלובלי?
4. יבש (1 נק׳): מה ההסתברות שהאלגוריתם יתכנס לפתרון לא אופטימלי (שאינו מקסימום גלובלי)?
5. יבש (1 נק׳): עבור אילו ערכים של ההסתברות להגיע מהמצב ההתחלתי למקסימום הגלובלי תוך בדיוק 3 צעדים גדול מ ?

הוראות הגשה:

עליכם להגיש קובץ יחד בשם AI1\_<id1>\_<id2>.zip (בלי הסוגריים המשולשים) המכיל:

1. קובץ בשם AI1\_<id1>\_<id2>.pdf שמכיל את התשובות לחלק היבש.
2. קובץ בשם Algorithms.py המכיל את המימוש לאלגוריתמי החיפוש.