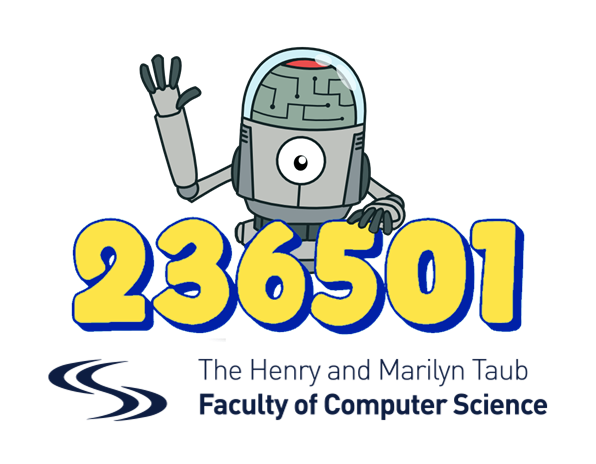
**מבוא לבינה מלאכותית – 236501**

אביב תשפ"ה, 2025

תרגיל בית 1

מרחבי חיפוש, אלגוריתמי חיפוש מיודע ולא מיודע, חיפוש לוקאלי



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: יום ראשון, 29.5.25, בשעה 23:55.
* את המטלה יש להגיש בזוגות בלבד. (למקרים מיוחדים יש לפנות אל ליאור במייל)
* יש להגיש מטלות מוקלדות בלבד בעברית או באנגלית. פתרונות בכתב יד לא ייבדקו.
* שאלות בנוגע לתרגיל בכל נושא שהוא יש להעלות לפורום המיועד בפיאצה**.**
* המתרגל האחראי על תרגיל: ליאור מלכה.
  + בקשות דחיה מוצדקות (מילואים, אשפוז וכו') יש לשלוח למתרגל האחראי (**ליאור מלכה**).
  + במהלך התרגיל ייתכן כי קבצי התרגיל (כולל מסמך זה) יעודכנו. הודעה על כך תפורסם 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:
    - 65% - המסמך היבש**.**
    - 35% - הקוד המוגש.
* אנו יודעים שעבור חלקכם זו התנסות ראשונה בכתיבת קוד בפייתון, והתרגיל מתוכנן בהתאם לכך.
  + שימו לב כי לא יענו שאלות בסגנון ״איך מוצאים את עלות הפתרון שהוחזר?״ / ״איך ניגשים למפה 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 תינתנה דחיות על רקע זה.
* מסמך זה כתוב בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד, אך מתייחס לכלל המגדרים.

כפי שצוין, אנחנו קשובים לפניות שלכם במהלך הזמן המוקצב להגשת התרגיל ומעדכנים את המסמך בהתאם.

בעת הצורך, גרסאות עדכניות של המסמך יועלו לאתר הקורס, ולכל עדכון יצורף מספר גרסה כדי שתוכלו לעקוב. ייתכן שתפורסמנה מספר גרסאות – אל תיבהלו מכך, השינויים בכל גרסה יכולים להיות מינוריים.

שימו לב כי הבהרות ועדכונים שנוספים למסמך אחרי הפרסום הראשוני יסומנו כאן בצהוב. הנחיות מחייבות כלליות נוספות יופיעו תחת פוסט נעוץ בפורום הפיאצה בהתאם לצורך.

הנחיות לחלק היבש

1. ככלל אצבע, בהינתן שאלה ראשית ספקו את התשובה המיידית ולאחר מכן הרחיבו והסבירו. למשל, אם השאלה היא מה סיבוכיות הזמן של אלגוריתם BFS, תשובה מספקת לדוגמה תהיה ״, מכיוון שבמקרה הגרוע ביותר נאחסן את כל עץ החיפוש של הבעיה ב-CLOSE״.
2. ישנן שאלות עם יותר מפתרון יחיד. כל פתרון נכון יקבל את מלוא הנקודות, בהנחה שהוא אכן מדויק ומנומק היטב.

הנחיות לחלק הכולל קוד

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 שפותחו ואת עלות הפתרון המוחזר. שימו לב כי הטסטים יהיו מוגבלים בזמן אך תקבלו זמן גדול מאוד לכל טסט.
3. ספקו קוד ברור ונקי הכולל תיעוד המאפשר גם בדיקה ידנית.

הוראות הגשה

* עליכם להגיש קובץ יחיד בשם AI1\_<ID1>\_<ID2>.zip (כאשר <IDX> מתאר את ת"ז של כל מגיש/ה), המכיל:
  + קובץ בשם dry.pdf המכיל את התשובות לחלק היבש.
  + קובץ בשם Algorithms.py המכיל את המימוש שלכם לאלגוריתמי החיפוש.

## **מבוא ורקע**

תרגיל הבית מתפרש על פני מסמך זה והמחברת המצורפת – **236501\_IAI\_Spring25\_HW1.ipynb**. מומלץ בחום לענות על השאלות לפי הסדר המתואר 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. במהלך התרגיל תתבקשו להריץ מספר ניסויים ולדווח על תוצאותיהם. לשם כך תידרשו לבצע ניתוח של התוצאות שהתקבלו, כפי שיוסבר בהמשך המסמך.

### סיפור מסגרת



יונתן ויונתן, זוג חברים, החליטו לפתוח את מסעדת החברים, מסעדת אוכל צרפתי.

לצורך משלוחים, יונתן התקשר לטל והציע לו לעבוד בתור השליח של המסעדה.

טל המובטל, מיד קפץ על ההזדמנות להרוויח כמה שקלים והחל לחלק את המשלוחים.

למרבה הצער, טל איננו בקיא בכבישי העיר חיפה ולכן אינו מסוגל לחלק בעצמו את המשלוחים ללא עזרה. יונתן ויונתן יודעים שאתם סטודנטים מצטיינים למדעי המחשב בטכניון, והם ביקשו מכם לדבר עם טל ולעזור לו למצוא את הדרך להגיע מהמסעדה אל כתובת היעד. כשטל מתקשר אליכם (בוכה וממלמל שהוא לא יכול להרשות לעצמו שיפטרו אותו), אתם מרגיעים אותו שלא רק שאתם יודעים את הדרך, אלא שאחרי שכבר למדתם אלגוריתמים רבים בקורס מבוא לבינה מלאכותית – גם תעזרו לו לתכנן את המסלול הטוב ביותר להגיע מהמסעדה ליעד.

### הגדרת סביבת העבודה עם Jupyter

לפני שתתחילו לפתור את התרגיל, נבקש שתקדישו מספר דקות לוודא כי סביבת העבודה שלכם מוגדרת היטב, לפי ההוראות המובאות כאן.

לאורך התרגיל נעבור לסירוגין בין עבודה על שאלות תיאורטיות לבין מימוש האלגוריתמים שלמדנו בכיתה עבור פתרון הבעיה אשר הוצגה במבוא. על מנת לאפשר עבודה נוחה וממוקדת במימוש האלגוריתמים עצמם, אנו מספקים לכם את המחברת **236501\_IAI\_Spring25\_HW1.ipynb** המאפשרת הרצה נוחה של האלגוריתמים השונים וכן ויזואליזציה של פעולתם.

המחברת הנ"ל היא מסוג Jupyter Notebook, המאפשרת הרצת קוד פייתון באופן שמותאם לניסויים כך שניתן לשנות שינויים מינוריים בקוד וכן להריץ מספר רב של ניסויים בזה אחר זה באופן אינטראקטיבי. הקובץ הנ"ל המשמש כמעין "מחברת" שיאפשר לכם להריץ את הניסויים שלכם לאורך התרגיל בצורה קלה. אם אתם מרגישים צורך בחיזוק וחידוד היכולות של Jupyter, תוכלו לעבור שוב על מחברת התרגול העצמי בפייתון שבאתר הקורס.

על מנת להימנע מתקלות הנובעות מהגדרת סביבת הפייתון שבה תעבדו, אנו ממליצים לעבוד עם **Google Colab**. כדי לאפשר עבודה בפלטפורמה עליכם להעלות את תוכן התיקייה של התרגיל לתוך תיקייה ב-Drive האישי שלכם, ולאחר מכן לפתוח את המחברת (קובץ ה-.ipynb) ולפעול על פי ההוראות. צפו בבקשה [**בסרטון ההדרכה הבא**](https://panoptotech.cloud.panopto.eu/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=cbb43a06-1dc6-446b-889b-b2330084bca5) על מנת למנוע אי-נעימויות בכל הקשור לתקלות הנובעות מהגדרת הסביבה.

שימו לב כי גרסת הפייתון איתה אתם נדרשים לעבוד היא **python 3.10**. גרסאות אחרות עלולות להוביל לתקלות שנובעות מאי-תאימויות במהלך ההתקנה של הספריות הנוספות הנדרשות בתרגיל שאינן נכללות בגרסת הפייתון הבסיסית, בפרט:

Gym

Numpy

Heapdict

Typing

* אין לעשותimport לספריות שלא הוגדרו בקוד שסופק לכם ושלא ניתן להן אישור מפורש בפורום הפיאצה.
* התחילו לענות על חלק זה רק לאחר שהגדרתם את סביבת העבודה והבנתם כיצד להריץ את הקוד במלואו.
* מומלץ לעבור על הקוד במחברת במקביל למסמך היבש, ולענות על השאלות השונות שלב-שלב.

## **מרחב החיפוש**

השאלות בחלק זה מתבססות על המפה "8x8" שמופיעה במחברת, אלא אם נכתב אחרת.

שאלה 1 – מבוא והיכרות עם מרחב החיפוש (9 נק׳):

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| F | F | F | F | F | F | F | **S** |
| L | A | T | F | F | F | F | F |
| F | T | F | F | **H** | F | F | T |
| F | T | **H** | F | F | F | **P** | F |
| F | F | **P** | F | **H** | F | A | F |
| F | **H** | F | F | F | **H** | **H** | F |
| L | T | F | F | F | T | **H** | F |
| **G** | F | F | F | **H** | F | L | F |

* 1. **קוד**: עברו על המחברת עד שאתם מגיעים לחלק של BFS-G ועצרו שם (לפני שתממשו את האלגוריתם הראשון במחברת).

השאלות בחלק זה מתבססות על המפה "8x8" שמופיעה במחברת (וכן במסמך הנ"ל), אלא אם נכתב אחרת.

* 1. תחילה נרצה להגדיר את מרחב החיפוש כפי שנלמד בתרגול. נגדיר:

= מרחב המצבים, אשר כל מצב בו מתואר על ידי וקטור של *d* פיצ'רים

= מרחב האופרטורים

= המצב ההתחלתי

= קבוצת מצבי המטרה

הגדירו את עבור סביבת חיפה. (1 נק')

* 1. מה גודל מרחב המצבים S? הסבירו. (1 נק')
  2. מה הוא מקדם הסיעוף בבעיית הניווט בחיפה? (1 נק')
  3. האם קיימים מעגלים במרחב החיפוש שלנו? (1 נק')
  4. מה תחזיר לנו הפונקציה Succ על המצב 17 (כפי שמוגדר במחברת)? (1 נק')
  5. מה תחזיר לנו הפונקציה Domain על האופרטור Down (אופרטור 2)? (1 נק').
  6. במקרה הגרוע ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן Random Agent להגיע למצב הסופי? ובמקרה הטוב ביותר? (1 נק')
  7. עבור **המפה "4x4" שמופיעה במחברת**, ציירו את גרף המצבים. חשבו על כלל הרכיבים שיש להתייחס אליהם בגרף שכזה. (1 נק')
  8. עבור מפה כללית בסביבת חיפה, בה יכולים להיות מספר מצבי מטרה (לדוגמה במקרה שבו טל יתרצה גם אם יגיע הביתה ויאכל את האוכל מהמשלוח בעצמו), האם המסלול הזול ביותר (מבחינת עלות המסלול) הוא גם המסלול שמגיע למצב המטרה הקרוב ביותר למצב ההתחלתי (במונחים של Manhattan Distance, כפי שנלמד בכיתה)? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית. (1 נק')

## **חיפוש לא מיודע**

השאלות בחלק זה מתבססות על המפה "8x8" שמופיעה במחברת, אלא אם נכתב אחרת.

שימו לב – כאשר אתם נשאלים לגבי היווצרות ופיתוח של צמתים בעת הריצה של אלגוריתם כלשהו:

* הניחו כי צומת התחלתי נוצר אוטומטית עם תחילת הריצה של האלגוריתם.
* התייחסו לסדר היצירה והפיתוח של הצמתים תוך כדי ריצת האלגוריתם כפי שהוא מוגדר לפי הפעולות השונות במחברת-
  + 0 – Down (יפותח ראשון)
  + 1 - Right
  + 2 - Up
  + 3 – Left (יפותח אחרון)

### שאלה 2 – Breadth First Search (BFS) (15 נק׳):

1. **קוד**: ממשו את הפונקציות הנדרשות עבור ריצתו של האלג' BFS-G בקובץ Algorithms.py, ע״פ ההנחיות המופיעות במחברת. (10 נק')
   1. עבור בעיית הניווט בחיפה עם מפה NxN, האם האלג' BFS-G שלם? האם הוא קביל? (1 נק')
   2. מה צריך להיות התנאי על גרף החיפוש (לא בהכרח בבעיית הניווט בחיפה) כך שאלג' BFS (שרץ על עץ) ואלג' BFS-G (שרץ על גרף) ייצרו ויפתחו צמתים זהים באותו הסדר? (1 נק')
   3. נתונה מפה בגודל NxN שלא מכילה Passways. הציעו דרך להשתמש באלגוריתם BFS-G כך שיחזיר פתרון אופטימלי (עלות מינימלית) והסבירו בקצרה. (2 נק')

* רמז: מצאו פונקציה המקבלת את גרף המצבים ויוצרת גרף חדש , ובעזרתה למצוא את המסלול האופטימלי בגרף .
  1. נתונה מפה בגודל NxN, ללא חורים, ללא Passways, 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. (1 נק')

### שאלה 3 – Depth First Search (DFS), וריאציות על DFS (10 נק׳):

1. עבור בעיית הניווט בחיפה עם מפה NxN, האם האלגוריתם DFS-G שלם? האם הוא קביל? (1 נק')
2. עבור בעיית הניווט בחיפה, נתונה מפה בגודל NxN. האם אלגוריתם DFS (שרץ על עץ), עבור בעיית הניווט בחיפה על מפה NxN, היה מוצא פתרון כלשהו? אם כן, מה המסלול שיתקבל? אם לא, כיצד האלגוריתם היה פועל? (1 נק')
3. כעת נתונה מפה בגודל NxN, ללא Holes וללא Passways. המפה מכילה משבצות "רגילות" (F/T/A/L), מצב התחלתי S בפינה השמאלית העליונה שלה ומצב מטרה S בפינה הימנית התחתונה שלה.
4. כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש DFS-G? (1 נק')
5. כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש **backtracking** DFS-G? הסבירו בתשובתכם מהו היתרון בשימוש באלג' זה על פני שימוש באלג' DFS-G מתת הסעיף הקודם. (1 נק')
6. טל רוצה למצוא מסלול בסביבת חיפה עם DFS-L. ידוע כי אורך המסלול הקצר ביותר לצומת מטרה הוא אך טל מחליט להגביל את עצמו לחיפוש בעומק בלבד.
7. עבור מפה כללית בגודל NxN, הציעו שינוי **לבעיית החיפוש** ברמת מרחב החיפוש כך שטל יוכל למצוא פתרון מבלי להפר את מגבלת העומק. הסבירו למה כעת ניתן למצוא פתרון. (3 נק')
8. האם השתנה מקדם הסיעוף? אם כן, מה מקדם הסיעוף החדש ? רשמו את התשובה כתלות ב (מקדם הסיעוף בבעיה המקורית). (1 נק')
9. מהן סיבוכיות הזמן והמקום החדשים? ענו במונחים של והשוו את התשובה ל-DFS-L רגיל עם עומק . (1 נק')
10. ספקו דוגמה לבעיה שבה DFS-L במרחב החיפוש החדש (לאחר השינויים שביצעתם בסעיף 5.1) טוב יותר מאשר DFS-L במרחב החיפוש הקודם, ודוגמה לבעיה שבה DFS-L במרחב המקורי טוב יותר (טוב יותר במונחים של מספר הצמתים שפותחו, והתייחסו למספר זה בתשובתכם). דוגמות יכולות להיות כלליות ולא בהכרח מסביבת חיפה. (1 נק')

### שאלה 4 – Uniform Cost Search (UCS) (14 נק׳):

1. **קוד**: ממשו את הפונקציות הנדרשות עבור ריצתו של האלג' Uniform Cost Search בקובץ Algorithms.py, ע״פ ההנחיות המופיעות במחברת. (10 נק')
2. האם בבעיית החיפוש שלנו, עבור מפה NxN, האלגוריתם הוא שלם? האם הוא קביל? (1 נק')
3. עבור אילו בעיות חיפוש אלגוריתם UCS ואלגוריתם BFS-G יפעלו באותו האופן, כלומר יחזירו אותם המסלולים כפתרון? הסבירו. (1 נק')
4. טל טעה במימוש של אלגוריתם UCS ובדק בטעות בזמן יצירת הצומת האם הוא צומת מטרה במקום בזמן הפיתוח שלו (כלומר, לאחר הוצאתו מתור העדיפויות). תנו דוגמה לגרף חיפוש שעבורו האלג' שטל מימש יחזיר בכל זאת את המסלול הקל ביותר, ודוגמה לגרף חיפוש שעבורו האלג' לא יחזיר את המסלול הקל ביותר. (2 נק')

* 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 הניווט בחיפה – ניתן לתת דוגמה לגרף שמייצג בעיית חיפוש אחרת.
* על הגרפים המוצעים להכיל קשתות מכוונות וכן את העלות של כל קשת.

## **חיפוש מיודע**

השאלות בחלק זה מתבססות על המפה "8x8" שמופיעה במחברת, אלא אם נכתב אחרת.

### שאלה 5 – יוריסטיקות (10 נק׳):

1. תהיינה שתי יוריסטיקות קבילות .
   1. הוכיחו/הפריכו: בהינתן , היוריסטיקה קבילה. (1 נק')
   2. הוכיחו/הפריכו: בהינתן , היוריסטיקה קבילה. (1 נק')
2. תהיינה שתי יוריסטיקות עקביות .
   1. הוכיחו/הפריכו: בהינתן , היוריסטיקה עקבית. (1 נק')
   2. הוכיחו/הפריכו: בהינתן , היוריסטיקה עקבית. (1 נק')
3. הציעו יוריסטיקה נוספת, המתבססת על ו- קבילות ועקביות כלשהן, בה נוכל להשתמש בבעיית חיפוש כללית כלשהי. הסבירו בקצרה מדוע אולי נרצה להשתמש בה, ואיזו תכונה בה באה לידי ביטוי. (2 נק')
4. נגדיר יוריסטיקה חדשה עבור בעיית הניווט בחיפה:

כאשר הביטוי מתאר את מרחק מנהטן מהמצב הנוכחי למצב סופי, והביטוי מתאר את מחיר השימוש ב-Passway (לדוגמה, 100 בבעיית הניווט בחיפה). שימו לב כי היוריסטיקה מחשבת את מרחקי מנהטן מהמצב הנוכחי למצב סופי על פני כל צמתי היעד.

1. האם היוריסטיקה קבילה עבור כל מפה בבעיית הניווט בחיפה? אם כן, הסבירו בקצרה. אם לא, ספקו דוגמה נגדית. (2 נק')
2. האם היוריסטיקה עקבית עבור כל מפה בבעיית הניווט בחיפה? אם כן, הסבירו בקצרה. אם לא, ספקו דוגמה נגדית. (2 נק')

### שאלה 6 – Greedy Best First Search (5 נק׳):

1. האם האלג' Greedy Best First Search, על מפה כללית עבור בעיית הניווט בחיפה בגודל NxN, הוא שלם? האם הוא קביל? (1 נק')

2. תנו יתרון וחיסרון של האלג' Greedy Best first Search ביחס ל-Beam Search. בתשובה התייחסו להגדרות השלמות והעקביות ולסיבוכיות

הזמן והזיכרון. תוכלו להתייחס לבעיית חיפוש כללית, ולא ספציפית עבור בעיית הניווט בחיפה. (2 נק')

3. טל טוען שאלג' Beam Search כאשר למעשה שקול לאלג' Greedy Best First Search. האם טל צודק? הסבירו בקצרה. (2 נק')

### שאלה 7 – A\*, וריאציות על A\* (22 נק׳):

1. **קוד**: ממשו את הפונקציות הנדרשות עבור ריצתו של האלג' W-A\* בקובץ Algorithms.py, ע״פ ההנחיות המופיעות במחברת. גם עבור אלגוריתם זה, השתמשו ביוריסטיקה . (10 נק')
2. בכיתה הגדרנו את פונקציית ההערכה עבור הצומת הבא לפיתוח במהלך ריצת האלג' A\* באופן הבא:

טל טוען כי אפשר להשתמש בפונקציה במקום ב-, ותוצאת הריצה של האלג' תהיה שקולה.

האם טל צודק? אם כן, התייחסו לסדר פיתוח הצמתים, המסלול המוחזר ועלות המסלול המוחזר מהאלג' בעת השימוש בפונקציה ), ואם לא, ספקו דוגמה נגדית קצרה. (2 נק')

1. **קוד**: ממשו את הפונקציות הנדרשות עבור ריצתו של האלג' A\* בקובץ Algorithms.py, ע״פ ההנחיות המופיעות במחברת. גם עבור אלג' זה, השתמשו ביוריסטיקה . (5 נק')
   * רמז: חשבו כיצד תוכלו לממש את האלג' A\* ע"י שימוש במימוש שהצעתם עבור W-A\*.
2. תנו יתרון וחסרון של האלג' ID-A\* ביחס ל-A\*. באילו מקרים הייתם מעדיפים להשתמש בכל אחד מהם? (1 נק')
3. תנו יתרון וחיסרון של האלג' A\*-epsilon ביחס ל-A\*. באילו מקרים הייתם מעדיפים להשתמש בכל אחד מהם? (1 נק')
4. יונתן ויונתן (שלמדו בעצמם בפקולטה, לפני שהתגייסו לצה"ל) החליטו כי מבין שלל הוריאציות של A\* המוזכרות בקורס, על טל להשתמש ב-W-A\* כדי להגיע ליעד. מכיוון שעברו כמה שנים רבות מאז עשו את הקורס, שניהם זוכרים את האלגוריתם במימוש מעט שונה:
   * בגרסה של יונתן א', האלג' W-A\* זהה לאלגוריתם A\* אך מקבל, בנוסף ליוריסטיקה , פרמטר . כפי שכבר הזכרנו, המיקום של צומת בתור העדיפויות OPEN נקבע ע"י על ידי . יונתן א' טוען כי בגרסה זו של האלג', אם היוריסטיקה קבילה אזי אלגוריתם W-A\* יחזיר פתרון עם משקל המקיים , כאשר הוא ערך הפתרון האופטימלי.
   * בגרסה של יונתן ב', האלג' W-A\* יפעל בדומה לגרסה שראינו בתרגול, בה המיקום של צומת בתור העדיפויות OPEN נקבע על ידי , עבור .

בהינתן שהיוריסטיקה הינה אכן קבילה, מהו החסם ההדוק ביותר על ערך הפתרון שיחזיר אלגוריתם W-A\* בגרסה שיונתן ב, מציע? הסבירו (על התשובה להיות תלויה ב־ בלבד). (3 נק')

## **ניתוח התוצאות**

### שאלה 8 – Benchmarking (5 נק׳):

בשאלה זאת נשווה בין אלגוריתמי החיפוש השונים שמימשתם על בעיות שונות.

1. **קוד**: הריצו את החלק הרלוונטי במחברת וודאו כי אתם רואים את קובץ ה-csv שנוצר (תוכלו לפתוח אותו עם Excel או כל תוכנה אחרת מתאימה).
2. הסבירו את התוצאות. האם הן תואמות לציפיות שלכם? האם התוצאות היו משתנות עם יוריסטיקה מיודעת יותר? נתחו והסבירו את התוצאות במונחים של מספר פיתוחים, המסלול המוחזר ועלות הפתרון (מומלץ לצרף גם ניתוח ויזואלי כלשהו, כגון גרף או טבלה).

שימו לב שבסעיף זה אין תשובה נכונה או לא נכונה, אך אתם נדרשים לספק הסבר מפורט ומבוסס. (5 נק')

## **חיפוש לוקאלי**

### שאלה 9 – Local Search (10 נק׳):

עכשיו כשאתם וטל כבר מכירים קצת, אתם מגלים שהוא בחור ממש מבולבל.

לא רק שהוא שהוא טועה בכבישים במהלך השליחויות, גם הכתובות למשלוח שהוא מקבל לטלפון שלו מתקלקלות לו! אז עכשיו, כשהוא כבר חבר שלכם, טל מבקש את עזרתכם (בתור מומחי אלגוריתמי בינה מלאכותית) לסדר את ההזמנות.

כשאתם מסתכלים בטלפון של טל על המסמך המכיל את כל הכתובות, אתם רואים שבאמת כל המילים בו התבלבלו... למשל, אם הופיע במסמך המקורי המשפט: "תעשה משלוח למעונות קנדה", במסמך שעל הטלפון של טל יופיעו המילים בסדר אחר, למשל: "למעונות משלוח קנדה תעשה".

הערות:

* הניחו כי במסמך המקורי כל מילה מופיעה פעם אחת בלבד.
* המילים מתערבבות בכל המסמך ולא רק בתוך כל משפט. הפרמוטציות של המילים במסמך הינן רנדומליות לחלוטין (ולא קורות לפי איזה סדר קבוע כלשהו).

מכיוון שאתם לא יודעים את איך נראו הכתובות במסמך המקורי, אין לכם מושג איך לסדר את המילים בסדר הנכון לבדכם. למזלכם, יונתן ויונתן (שיודעים את הסידור המקורי) נותנים לכם פונקציית ערך (utility function) המקבלת את המסמך ומחזירה את מספר המילים שנמצאות במיקומן המקורי במסמך (ערכים בין ל-), וכן אופרטור הלוקח שתי מילים כלשהן בדף ומחליף בין מיקומיהן.

אחרי כל מה שלמדתם בהרצאות ובתרגולים של "מבוא לבינה מלאכותית", אתם רוצים להפעיל אלגוריתם חיפוש לוקאלי אשר משתמש בפונקציית הערך ובאופרטורים הנ״ל שהפתרון שלו יהיה הסידור הנכון של המילים במסמך.

1. הגדירו המצבים במרחב החיפוש (2 נק')
2. מהו מספר המצבים במרחב החיפוש? (1 נק')
3. אתם נזכרים כי יונתן הוא בוגר הקורס (ואף קיבל ציון 100 בתרגיל בית 1), לכן מבקשים את עזרתו גם בהפעלת האלגוריתם. הוא מציע לכם להשתמש ב-SAHC (Steepest Ascent Hill Climbing), על מנת למצוא פתרון. האם האלגוריתם Steepest Ascent Hill Climbing בהכרח ימצא פתרון? (2 נק')
4. יונתן מגלה אף הוא על התקלה במסמך הכתובות, ומייעץ לכם להשתמש ב-SAHC with sidesways steps.
   1. האם האלגוריתם SAHC with sidesways steps בהכרח ימצא פתרון? (2 נק')
   2. יונתן טוען כי עבור המקרים בהם SAHC ו-SAHC with sideways steps מוצאים פתרון, עדיף להשתמש ב-SAHC with sideways steps. האם יונתן צודק? (3 נק')
      * אם שימוש ב-SAHC with sidesways steps ימצא פתרון בפחות צעדים או ביותר צעדים, הסבירו מדוע.
      * אחרת, הוכיחו שתחת כל סדר בחירה של פעולות משפרות שני האלגוריתמים יגיעו לפתרון האופטימלי תוך מס' צעדים זהה.