**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:29.2 יום חמישי**, בשעה 23:59.)לשנות מועד ולפתוח פיאצה)

· 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/winter2024/236501/home) **בלבד**.

· המתרגל האחראית על תרגיל: **שאדי דיאב** .

· 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

לקאקרוטו וגוהאן יש 5 כדורי דרקון וחסר להם שני כדורים, והם ממש צריכים אותם כדי להזמין הדרקון שן-ראן ולבקש ממנו להחזיר את החברים שלהם לחיים, לכן הם הלכו לכוכב לכת נאמיק כדי לחפש כדורי הדרקון, קאקרוטו הציע שיחפשו על הכדור דרך ה ג׳י.פי.אס שלהם אבל גוהאן מסביר לקאקרוטו שיש לו חברים שלוקחים הסמסטר את קורס ״מבוא לבינה מלאכותית״. גוהאן מבקש ממכם לעזור לו לתכנן את המסלול הטוב ביותר כדי לאסוף כדורי הדרקון ולהגיע לקאקרוטו שמחקה לו.

A cartoon of a person and a child

Description automatically generated

### 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 ועצרו שם.
  2. יבש (1 נק׳): תחילה נרצה להגדיר את מרחב החיפוש כפי שנלמד בתרגול. הגדר את עבור סביבת כדורי הדרקון. כאשר זה מרחב המצבים, , זה מרחב האופרטורים, , זה המצב ההתחלתי ו הוא קבוצת מצבי המטרה. מה גודל מרחב המצבים S? הסבירו.

S – יהיה הלוח שלנו עם המיקום של גוקו עליו ואם הוא אסף את הכדור הראשון ואם הוא אסף את הכדור השני, בלוח יש 64 משבצות שבהן גוקו יכול להימצא ולכן מספר המצבים שלנו הוא: .

O – ארבעת האופרטורים הם UP, DOWN, RIGHT, LEFT.

I – המצב ההתחלתי תמיד יהיה הנקודה S- (0,False,False).

G - כל משבצת בלוח שמסומנת ב-G ושגוקו אסף את שני הכדורים, כלומר: .

* 1. יבש (1 נק׳): מה תחזיר לנו הפונקציה Domain על אופרטור 2 (UP)?

הפונקציה תכיל את כל המצבים מלבד המצבים שבהם המשבצת מסומנת בG- או ב- H, וזה כי האופרטור מוגדר על כל מצב שניתן לצאת ממנו כאשר אם המשבצת בשורה הראשונה ומעליה אין עוד משבצות גוקו ישאר במקום. המצבים ב-G הם סופיים ולא ניתן לצאת מהם, והמצבים שהם H מוגדרים גם הם כמצבים שלא ניתן לצאת מהם.

* 1. יבש (1 נק׳): מה תחזיר לנו הפונקציה Succ על המצב ההתחלתי 0?

הפונקציה תחזיר לנו את כל המצבים אליהן ניתן להגיע מהמצב ההתחלתי וכמה יעלה להגיע לשם:

נקבל את המצבים : (0, False, False) – אם ננסה ללכת למעלה או שמאלה נישאר באותו מקום, ויעלה לנו 1

(8, False, False) – אם נלך למטה ויעלה לנו 10

(1, False, False) – אם נלך ימינה ויעלה לנו 10

* 1. יבש (1 נק׳): האם קיימים מעגלים במרחב החיפוש שלנו?

כן, ניתן לבקר במשבצת שכבר היית ולכן ייתכנו מעגלים במרחב החיפוש, נשים לב כי במסלול האופטימלי לא יהיה מעגלים כי אין משבצות שהמעבר אליהן (קשתות) עם ערך שלילי.

נשים לב כי לאחר שאפסנו כדור נוסף כל משבצת נוספת שנגיע אליה היא מצב חדש.

* 1. יבש (1 נק׳): מה הוא מקדם הסיעוף בבעיה?

מקדם הסיעוף הוא 4 מכיוון שניתן להגיע מכל משבצת ל4 משבצות סמוכות (לפעמים לפחות).

* 1. יבש (1 נק׳): במקרה הגרוע ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן כללי להגיע למצב הסופי?

במקרה הגרוע הוא לעולם לא יגיע, הוא יכול ללכת רק למעלה מהמצב ההתחלתי ולא לזוז בכלל או ליפול לבור ולא לצאת ממנו.

* 1. יבש (1 נק׳): במקרה הטוב ביותר, כמה פעולות ידרשו לסוכן כללי להגיע למצב הסופי?

14, עבור לוח כללי במקרה הטוב ביותר מספר הפעולות הוא מרחק מנהטן לנקודת G הקרובה ביותר ל-0 שעוברת דרך הצמתים עם הכדורים, בהנחה שיש דרך מינימלית שאינה עוברת בבור ולכן נקבל מסלול של 14 צעדים.

בהנחה שמדברים על הלוח שנתון למעלה הפתרון הקשר ביותר הוא: Down\*6,Right\*3,Up,Right\*2,Down,Right\*2,Down

סך הכל נקבל 16 צעדים.

* 1. יבש (1 נק׳): עבור לוח כללי, המסלול הקל ביותר הוא המסלול שמגיע למצב מטרה שהכי קרוב למצב ההתחלתי (במונחים של manhattan distance)? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמא נגדית.

הטענה לא נכונה, וזה מכיוון שיש משבצות זולות יותר ממשבצות אחרות.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| L | D,D | S |
| L | F | F |
| G | G | F |

לדוגמה לוח 3x3: המסלול שמגיע למטרה הקרובה ביותר הוא הכחול ומשקלו לפחות 21.

לעומת זאת המסלול הירוק מגיע למטרה רחוקה יותר אך משקלו רק 4.

### 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 כדורי הדרקון) כך שBFS על גרף ו-BFS על עץ ייצרו ויפתחו צמתים זהים באותו הסדר?

גרף החיפוש צריך להיות חסר מעגלים ואז הריצות יהיו זהות.

* 1. יבש (2 נק׳): עבור הלוח“4x4” שמופיע במחברת, ציירו את גרף המצבים.
  2. יבש (2 נק׳): נתון לוח בגודל NxN. 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, 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?

מספר הצמתים שיפותחו במקרה הגרוע הוא כאשר כדור אחד בפינה הימנית העליונה והשני בפינה השמאלית התחתונה

נייצר ונפתח את כל המצבים מהצורה ((I,j), false, false) מלבד אלו שיש בהם כדורים.

נייצר ונפתח את כל המצבים מהצורה ((I,j), true, false) מלבד הפינה עם הכדור השני.

נייצר ונפתח את כל המצבים מהצורה ((I,j), true, false) מלבד הפינה עם הכדור השני.

נייצר ונפתח את כל המצבים מהצורה ((I,j), true, true) מלבד האלכסון.

סך הכל:

### שאלה 3 – Depth First Search-G (6 נק׳):

1. יבש (1 נק׳): עבור בעיית כדורי הדרקון עם לוח NxN, האם האלגוריתם שלם? האם הוא קביל?

האלגוריתם שלם אך לא קביל וזה מכיוון שהוא יכול להחזיר מסלול ארוך יותר, כפי שראינו בהרצאה.

דוגמה על לוח 3X3:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2-B | 1 | 0 |
| 5-B | 4 | 3 |
| 8G- | 7 | 6 |

הפתרון האופטימלי הוא , כלומר מסלול באורך 4

*לעומת זאת DFS יעבור ב ארוך יותר מ4.*

1. יבש (1 נק׳): האם אלגוריתם DFS (על עץ), עבור בעיית כדורי הדרקון על לוח NxN, היה מוצא פתרון כלשהו? אם כן, מה המסלול שיתקבל? אם לא, כיצד האלגוריתם היה פועל?

האלגוריתם לא היה מוצא, מכיוון שהוא רץ על עץ הוא לא בודק אם הוא כבר היה בצומת לכן יתכן שיחזור על צומת מספר פעמים. מהגדרות הסביבה נובע כי כאשר מנסים לצאת מחוץ לגבולות הלוח זה כאילו נכנסנו למשבצת שאנו עומדים עליה, ולכן גוקו ילך לכיוון מטה עד הגעתו לקצה התחתון של הלוח וימשיך לנסות לרדת וישאר במקום.

אם במקרה קיימת נקודת סיום בדרך בה גוקו הולך (ואין נקודת בור והכדורים נמצאים בדרך זו) האלגוריתם יצליח, אבל גוקו יצטרך הרבה מזל.

1. יבש (2 נק׳): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, המכיל משבצות רגילות (F,T,A,L) מצב התחלתי בפינה השמאלית עליונה ומצב מטרה בפינה הימנית תחתונה (תניחו כי שני כדורי הדרקון הם בפינה ימינית תחתונה) . כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש  DFS-G? הסבירו?

מספר הצמתים שיווצרו הוא N-44 ושיפותחו הוא 2N-2, וזה מכיוון שגוקו ירד עד למטה (N) ואז כאשר יגיע לקצה ילך ימינה עד המטרה (N-1 צמתים), בכל צעד הוא ייפתח צומת אחד וייצור 2 צמתים.

אנחנו מניחים כי אופן בחירת הכיוון של האלגוריתם הוא למטה, ימינה, למעלה, שמאלה.

1. יבש (2 נק׳): נתון לוח בגודל NxN, ללא חורים, המכיל משבצות רגילות (F,T,A,L) מצב התחלתי בפינה השמאלית עליונה ומצב מטרה בפינה הימנית תחתונה (תניחו כי שני כדורי הדרקון הם בפינה ימינית תחתונה). כמה צמתים יפותחו וייווצרו במהלך חיפוש backtracking DFS-G? הסבירו?

זהה לסעיף קודם רק שבאלגוריתם זה אנחנו מייצרים מצבים באופן אצל כלומר ברגע שייצרנו מצב אנחנו נלך עליו ונייצר את המצב הבא רק לאחר שנחזור, במקרה שלנו המסלול הראשון של האלגוריתם מוצא את הפתרון ולכן לא ייוצרו צמתים מחוץ למסלול שהוא למטה עד הסוף(N) ואז ימינה עד הסוף (N-1).

מספר הצמתים שייווצרו הוא 2N-1 ושיפותחו הוא 2N-2, כי אין צורך לפתח את צומת המטרה.

### שאלה 4 – ID-DFS (6 נק׳):

* 1. (1 נק׳) האם האלגוריתם שלם? אם כן, הוכיחו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית.

* 1. (1 נק׳) נניח כי עלות כל פעולה היא 1, האם האלגוריתם קביל? אם כן, הוכיחו. אם לא, הסבירו**.**
  2. (1 נק׳) הציעו דרך לעדכן את אלגוריתם על מנת לתקן את הבעיה מהסעיף הקודם.

1. 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

1. בשאלות הבאות הניחו כי יש מספיק זמן לסיום האיטרציה הראשונה.
   1. (1 נק׳) ספקו דוגמה בה ReverseDFS עדיף על ID-DFS ודוגמה בה ID-DFS עדיף על ReverseDFS. הדוגמאות יכולות להיות כלליות ולא בהכרח מסביבת התרגיל.
   2. (2 נק׳) הציעו כיצד ניצן לייעל את האלגוריתם. רמז: האם אתם יכולים לחשוב על צעד עדכון עדיף לL?

נשנה את האלגוריתם בצורה הבאה :

### שאלה 6 - UCS (4 נק׳):

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

1. יבש (1 נק׳): עבור אילו בעיות חיפוש אלגוריתם UCS ואלגוריתם BFS יפעלו באותו האופן? הסבירו.

במידה ומשקל כל הקשתות שווה האלגוריתמים יהיו זהים, מכיוון שUCS בוחר את הקשת הקלה ביותר בכל פעם ומכיוון שכל הקשתות באותו גודל ניתן לגרום לו לבחור כמו BFS.

1. יבש (1 נק׳): האם בבעיית החיפוש שלנו, עבור לוח NxN, האלגוריתם הוא שלם? האם הוא קביל?

האלגוריתם שלם וקביל וזאת מכיוון שהוא ידע לא להיכנס לבורות כי העלות שלהם היא אינסוף, בנוסף משקל הקשתות חסום מלמטה על ידי 1 ולכן כפי שראינו האלגוריתם תמיד ימצא את הפתרון האופטימלי.

1. יבש (2 נק׳): שאדי טעה במימוש של אלגוריתם UCS ובטעות בדק בעת יצירת הצומת האם היא צומת מטרה במקום בפיתוח שלה. הביאו דוגמה לגרף חיפוש שעבורו שאדי יחזיר בכל זאת את המסלול הקל ביותר, ודוגמה לגרף חיפוש שעבורו שאדי 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 כדור הדרקון. אתם יכולים לתת דוגמה לגרף שמייצג בעיית חיפוש אחרת. הגרף צריך להכיל קשתות מכוונות ואת העלות של כל קשת.

האלגוריתם של שאדי יחזיר תשובה נכונה על הגרף הפשוט הבא שבו יש רק פתרון אחד והוא 1:

1

לעומת זאת בגרף חיפוש הבא האלגוריתם של שאדי יטעה ויחזיר את המסלול S-U-G במשקל 10

במקום את המסלול S-V-G במשקל 8.

7

1

7

3

### שאלה 7 - יוריסטיקות (8 נק׳):

יהי מרחב חיפוש (G,I,O,S) , נסתכל על בעיית הניווט לכדור דרקון יחיד. . המטרה היא למצוא מסלול זול ביותר מהמוצא ליעד יחיד G . פונק׳ העלות מוגדרת כאורך הכביש המחבר בין שתי נקודות. ניתן להניח כי העולם שטוח . מלבד זאת, לא ניתן להניח דבר נוסף על מרחב החיפוש.

הגדרה : יוריסטיקה h היא ε-קבילה אם קיים כך שלכל מצב מתקיים .

נזכיר כי הינה פונקציית המחיר המסלול האופטימאלי מ-s לצומת היעד .

עבור כל אחת מהיוריסטיקות הבאות קבעו האם קיים כך שהיוריסטיקה תהיה ε-קבילה . אם כן מצאו את ה-ε ההדוק ביותר המקיים את זאת. נמקו היטב .

1. יבש (1 נק׳): מרחק מנהטן :

קיים, מכיוון שאורך הכביש הקצר ביותר בין שתי נקודות הוא קו ישר כלומר ועבור נקבל כי לכל צומת

1. יבש (1 נק׳):

קיים והוא שווה ל1.

מתכונות המשולש נקבל כי המרחק בין שתי נקודות גדול גם מהפרש הx וגם מהפרש הy ולכן גדול מהמינימום ביניהם.

1. יבש (1 נק׳): :

כן, כמו בסעיף קודם עבור נקבל שהיוריסטיקה היא -קבילה, מכיוון שלכל שני מספרים x,y מתקיים כי

1. יבש (1 נק׳): נתונות יוריסטיקות שהן קבילות בהתאמה וכי הם האפסילונים ההדוקים ביותר.

הראו כי היא – קבילה , מצאו את ההדוק ביותר והוכיחו .

מתקיים לכל :

*בגלל ש הוא החסם ההדוק ביותר על וכנ"ל עבור נקבל כי החסם ההדוק ביותר על הוא .*

נגדיר יוריסטיקה חדשה :

* D היא קבוצת כדורי הדרקון, .

הערה: בנוסחת המרחק מתייחסים למיקום של צומת.

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 דוגמה נגדית.

היוריסטיקה לא קבילה על כל לוח וזה כי בעולם בו ניתן ללכת באלכסון היוריסטיקה של מרחק מנהטן היא לא יוריסטיקה קבילה. דוגמה נגדית: לוח 3x3 כך שיש מצב סופי יחיד בפינה הימנית תחתונה ושני הכדורים מונחים באותה פינה ולכן נגיע למצב שבו היוריסטיקה שהוגדרה היא מרחק מנהטן לנקודה הימנית התחתונה ולמשל לפינה השמאלית העליונה , אבל היוריסטיקה תהיה ולכן היוריסטיקה תהיה לא קבילה.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2 | 1 | 0S- |
| 5 | 4 | 3 |
| 8B,B,G- | 7 | 6 |

1. יבש (1 נק׳): האם היוריסטיקה עקבית על כל לוח? אם כן הסבר, אם לא הבא דוגמה נגדית.(לחשוב אם היא עקבית ולתקן בהתאם)

נגדיר יוריסטיקה חדשה :

* D היא קבוצת כדורי הדרקון, .

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

יתרון:

במידה והיוריסטיקה אליה האלגוריתם מסתמך הוא מהיר מאוד לעבר המטרה ומוצא פתרון מהר מאוד.

חסרון:

האלגוריתם לא מתחשב בעלות המסלול עד לנקודה ולכן עלול למצוא מסלול שאינו אופטימלי.

### 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.

לא בהכרח, לדוגמה ניקח את h להיות יוריסטיקת האפס שהיא קבילה, ואז נקבל ושני המסלולים שיוחזרו יהיה בעלי אותו משקל ולכן .

* 1. יוריסטיקה כללית (לא בהכרח קבילה) . אם כן הסבירו. אם לא, ספקו דוגמה נגדית.

לא, כמו בדוגמה הקודמת, ניקח את יוריסטיקת ה0.

### שאלה 10 – IDA\* (2 נק׳):

1. יבש (1 נק׳): ספקו יתרון וחסרון של IDA\* ביחס לA\*. באילו מקרים הייתם מעדיפים להשתמש בכל אחד מהם?
2. יבש (1 נק׳): ספק המחשה שלב אחר שלב של אלגוריתם IDA\* על הלוח (4x4) שמופיע במחברת, המראה כיצד החיפוש מתקדם באמצעות העמקה איטרטיבית ?

### שאלה 11 – A\* epsilon (6 נק׳):

1. **רטוב**: ממשו את החלקים החסרים באלג׳ W-A\* בקובץ ע״פ ההנחיות המופיעות שם. עליכם להשתמש ביוריסטיקה .

### יבש (2 נק׳): תנו יתרון וחיסרון של A\*-epsilon לעומת A\*.

יתרון: A\*-epsilon מהיר יותר כי במציאת המסלול למטרה וזה כי הוא מאפשר הליכה במסלולים שאינם אופטימליים אך יכולים לקרב מאוד אל המטרה .

חסרון: A\*-epsilon עלול להחזיר מסלול שאינו אופטימלי.

1. יבש (3 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.
2. יבש (1נק׳): אם נגדיר שאפסילון שווה לאינסוף איך תהיה ההתנהגות של האלגוריתם עם סביבת כדורי הדרקון.

האלגוריתם יתנהג זהה לזה של וזה מכיוון שכל שכן עומד בדרישה של להיות קטן מ ולכן נוסיף אותו לרשימת FOCAL, מלבד מצבים שכבר היינו בהם ואז אין צורך.

### 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 מהמצב ההתחלתי לכל אחד מהמצבים . רשמו את .
2. יבש (1 נק׳): מה הוא מספר הצעדים המקסימלי שהאלגוריתם יכול לבצע? צעד מוגדר כמעבר בין מצבים.

אם מספר הצעדים המקסימלי הוא 3 אחרת 2, וזה מכיוון שאנו יכולים ללכת רק למצב שערך הU שלו גדול משלנו, ולכן המסלול הכי ארוך יהיה:

(\*) במידה ו-.

1. יבש (1 נק׳): בהיתן שבצעד הראשון האלגוריתם עבר למצב . האם האלגוריתם יתכנס למקסימום הגלובלי?

לא, וזה מכיוון שבשביל להגיע למקסימום הגלובלי שזה F או האלגוריתם חייב לעבור דרך מצב B, ומתקיים: , כלומר מB ניתן להגיע רק לH שהוא מקסימום לוקאלי כלומר לא ניתן להתקדם ממנו.

1. יבש (1 נק׳): מה ההסתברות שהאלגוריתם יתכנס לפתרון לא אופטימלי (שאינו מקסימום גלובלי)?

יש שני מקרים :

נחלק למקרים לפי הערכים של :

*:*

*ניתן לראות כי אם האלגוריתם מגיע לB הוא בהכרח יגיע למקסימום מוחלט וזה כי לא ניתן להגיע לE ולכן נעבור או לG שהוא מקסימום מוחלט או לF שאם הוא לא מקסימום מוחלט משם נמשיך לG.*

*כלומר האלגוריתם לא יגיע למקסימום מוחלט אם אחד מהמקרים הבאים*

1. האלגוריתם יתכנס ל-H, ראינו בסעיף קודם שאם האלגוריתם מגיע לB הוא מגיע בהכרח לH ולכן
2. האלגוריתם יתכנס ל-D, כמו בסעיף הראשון:

סך הכל הסתברות של.

:

במקרה זה אינו מקסימום גלובלי ולכן נקבל עוד מסלול שאינו מסתיים במקסימום גלובלי, נחשב את ההסתברות שלו:

נוסיף את המסלולים מסעיף קודם ונקבל:

1. יבש (1 נק׳): עבור אילו ערכים של ההסתברות להגיע מהמצב ההתחלתי למקסימום הגלובלי תוך בדיוק 3 צעדים גדול מ ?

אין ערך שכזה.

דרוש כי נגיע אל המקסימום הגלובלי ב3 צעדים כלומר חייב להיות המקסימום הגלובלי כי אל F ניתן להגיע רק ב2 צעדים.

נשים לב כי אם לא נגיע מ-F ל- *כדרוש, ולכן .*

קיבלנו שאין ערך של כנדרש.

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.