

# מבוא לבינה מלאכותית

סמסטר חורף תשפ"ד

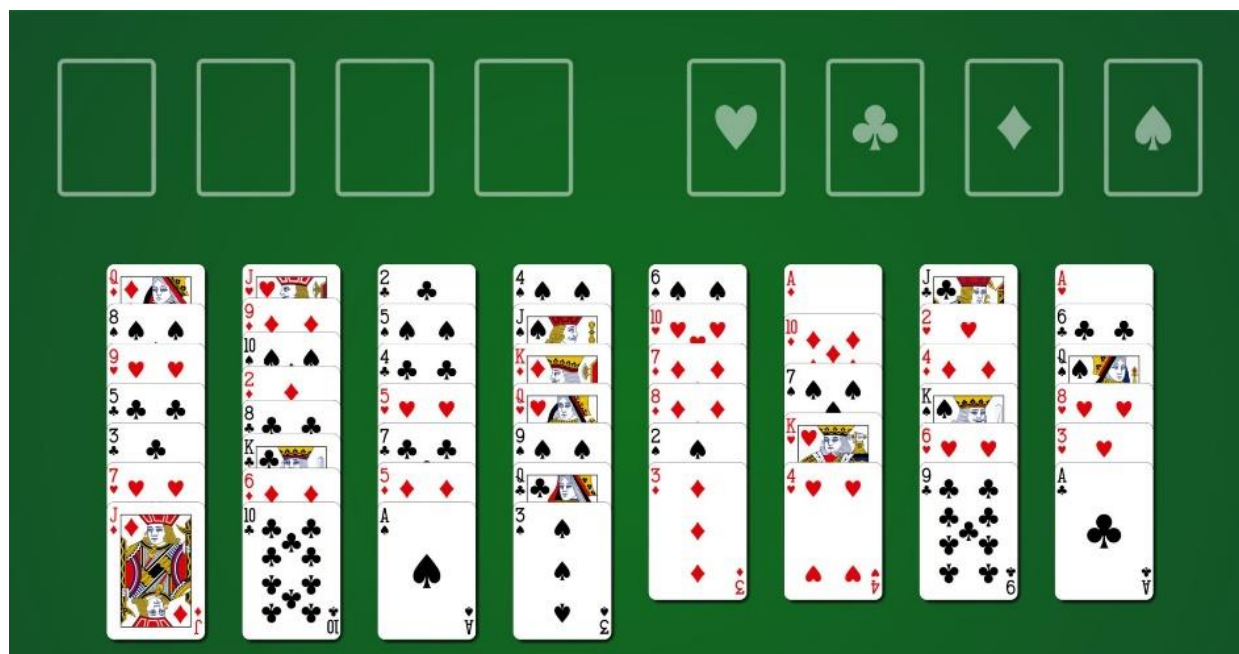
## מטלה 3 - Domain-Independent Planning

תאריך הגשה: 1.3.2024

### הנחיות

- שאלות בנושא מטלה זו יש לשאול דרך המודל, בפורום "מטלה 3".
- הוראות להגשת המטלה מופיעות בסוף מסמך זה.
- הקבצים הנדרשים להרצת הקוד הינם:
  - freecell.pddl
  - planner.py
  - pfile1.pddl
  - pfile2.pddl
  - pfile1.solution
  - pfile2.solution
  - בנוסף, על מנת לבדוק להריץ את ה-planner יש להשתמש באלגוריתם התכנון המסופק יחד עם שאר קבצי המטלה.
- העבודה להגשה בזוגות בלבד אלא אם כן המגישים קיבלו אישור מיוחד.
- לפני שניגשים לממש את המטלה מומלץ לעיין רבות בהסברים וכן בקוד הקיים.
- פתרון המטלה שתגישו ייבדק מול שאר ההגשות על ידי תוכנת העתקות.
- **מי שימצא כי העתיק יכשל בקורס וכן יועבר לוועדת משמעת אוניברסיטאית.**
- הפרויקט נכתב וייבדק בשפת התכנות python, גרסה +3.8.
- מסמך זה בנוי באופן הבא: תיאור המטלה, בעיית תכנון, מרחב הבעיה, שאלות המטלה, הנחיות לביצוע השאלות, והסבר על הגשת המטלה.

## תיאור המטלה



בתרגיל זה עליכם לייצר מודל PDDL המתאר את משחק ה-freecell. משחק ה-freecell הינו משחק קלפים אשר בעבר היה ניתן לשחק בו במחשבי windows.

## הגדרת המשחק והכללים

ישנן 8 עמודות קלפים, 4 תאים חופשיים, ו-4 תאים המוגדים תאי בית. הקלפים מתחילים במיקום רנדומלי כלשהו ב-8 העמודות (כפי שניתן לראות בתמונה) והמטרה היא להעביר את הקלפים על פי הצורה שלהם לתאי הבית המתאימים להם.

הקלף התחתון בכל עמודה חשוף לחלוטין (חופשי). העמודות יכולו קלפים אדומים ושחורים ומספרי וסוג הקלפים יחולקו רנדומלית (במטלה זו אנחנו נגדיר חוקים מקלים יותר למשחק, בפרט, אין משמעות לצבע בהגדת התרגיל).

1. ניתן להזיז כל קלף אשר נמצא בראש חבילת קלפים (כלומר, אין אף קלף מעליו) לכל תא חופשי. יש לשים לב, כל תא חופשי יכול להכיל **קלף אחד בלבד** (לא ניתן לשים קלף נוסף עליו).
2. ניתן להעביר קלף (מאחת משמונה העמודות או מכל תא חופש) לתא הבית המתאים **לסדרת הקלף** (suite=) שלו **אם הקלף הנוכחי בתא הבית הוא הקלף הקודם אליו בחבילה**. הקלף הנמוך ביותר בחבילה הוא האס, וניתן להעביר אותו לתא בית ריק. נסיך הוא בעל ערך 11, מלכה 12 ומלך 13 (שימו לב, בהגדרת כל בעיה יתואר ב-PDDL סדר היררכיית הקלפים).
3. ניתן להעביר קלף לאחת מהעמודות אם אין מעליו אף קלף אחר. את הקלף מניחים על הקלף החופשי והקלף שהונח הופך להיות הקלף החופשי של אותה עמודה.

4. אם אחת העמודות התרוקנה, ניתן להעביר אליה כל קלף חופשי.
5. לא ניתן להוציא קלף מערימת הבית אם כבר הונח בה.
6. המשחק מסתיים בניצחון אם כל הקלפים שנדרשו הונחו על ערימות הבית. קיימת האפשרות שהשחקן "ייתקע" במשחק ויגיע למצב שממנו אין סיכוי לנצח. **שימו לב, ייתכן מצב שבו לא כל הקלפים צריכים להיות בערימת הבית** (מקרה ספציפי יוצג בהמשך).

לטובת קבלת פרטים נוספים על המשחק ניתן לראות את הסרטון הבא: [משחק פריסל](#)

### לטובת עבודה זו הגדרנו כלל חדש.

בחלק מהחבילות ישנם קלפים המוגדרים כ-joker וניתן לשים אותם בעמודת הבית מיידית בהינתן כי אין אף קלף מעליהם וה-suite שלהם תואמת את ה-suite של עמודת הבית. שימו לב, שלא כמו קלפי ג'וקר רגילים, במשחק שלנו לקלף המוגדר כ-joker יש סוג וניתן להניח אותו רק בערימת הבית המתאימה לו.

### מרחב הבעיה

#### מוגדרים הפרדיקטים הבאים:

1.  $(on\ c1\ c2)$  –  $c1$  נמצא על  $c2$ .
2.  $(incell\ c)$  –  $c$  נמצא בתא חופשי.
3.  $(clear\ c)$  – הקלף  $c$  נמצא בראש עמודה.
4.  $(cellspace\ n)$  – פרדיקט המציין כי ישנם  $n$  תאים חופשיים (תאים אלו יכולים לקבל קלף יחיד בלבד).
5.  $(colspace\ n)$  – פרדיקט המציין כי ישנם  $n$  עמודות חופשיות.
6.  $(home\ c)$  – הקלף  $c$  נמצא **בראש** ערימת הבית שלו.
7.  $(bottomcol\ c)$  – הקלף  $c$  נמצא בתחתית החבילה \ עמודה.
8.  $(value\ c\ v)$  – הערך של הקלף  $c$ . הערכים האפשריים הם 1 עד 13
9.  $(suit\ c\ s)$  – הקלף  $c$  שייך ל-suit  $s$ . ה-suits האפשריים הם:
  - a.  $c - club$
  - b.  $s - spade$
  - c.  $d - diamond$
  - d.  $h - heart$
10.  $(successor\ n1\ n0)$  - מציין שהערך **המספרי**  $n1$  הוא הערך העוקב של  $n0$ , כלומר  $n1 = n0 + 1$  (ככה לא צריך מספרים במידול)
11.  $(jokercard\ c)$  – הקלף  $c$  מוגדר כג'וקר וניתן להניח אותו מיידית בערימת הבית הרלוונטית אליו (על פי ה-suite שלו) בהינתן שאין קלפים מעליו.

יש לשים לב:

1. מכיוון שזו בעיית STRIPS הערכים של קלפים ייצגו על ידי האובייקטים המתאימים. כלומר, קלף יהלום עם ערך אס ייצג על ידי diamondA.
2. הפעולות שבהן מופיע b בסוף שם הפעולה מתייחס לפעולה על קלף הנמצא בתחתית העמודה שלו כלומר bottom.
3. ישנן פעולות בהן מספרי העמודות ולא התאים החופשיים עולה ולא יורד. לכן חשוב לשים לב לכיוונים של הפרדיקטים המציינים יחסי סדר וגדלים מספריים.

### עליכם להגדיר את ה-preconditions וה-effects לפעולות הבאות:

**Move** – הפעולה מעבירה קלף בין ערימות שונות.

- פרמטרים - ?card ?oldcard ?newcard
  - ?card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?oldcard הינו הקלף עליו מונח הקלף אשר אותו אנחנו מעוניינים להעביר
  - ?newcard הקלף אשר עליו יונח אותו הקלף שאנחנו מעבירים בין ערימות
- ניתן להעביר קלף בין עמודות רק אם:
  - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא
  - באותו אופן גם ?newcard חייב להיות בראש הערימה שלו.
  - הקלף ?card נמצא על הקלף ?oldcard
- לאחר העברת ?card הקלף עליו הונח הקלף בעבר, כלומר ?oldcard, הופך להיות בראש העמודה שלו והקלף ?newcard כבר לא בראש הערימה שלו.

**Move-b** – הפעולה מעבירה קלפים בין ערימות כאשר הקלף המועבר הינו בתחתית העמודה שלו ולכן נוצרת עמודה חדשה לאחר העברתו לעמודה אחרת.

(שימו לב, פעולה זו נתונה לכם על מנת שתוכלו להיעזר בה לטובת פתרון התרגיל).

- פרמטרים - ?card ?newcard ?cols ?ncols
    - ?card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
    - newcard הקלף אשר עליו יונח אותו הקלף שאנחנו מעבירים בין ערימות
    - ?cols מציין את מספר העמודות לפני העברת הקלף.
    - ?ncols מציין את מספר העמודות שיווצרו לאחר העברת הקלף.
  - ניתן לבצע את הפעולה אם:
    - הקלף ?card הינו הקלף בתחתית העמודה שבה הוא נמצא.
    - ?newcard חייב להיות בראש הערימה שלו.
    - לפני ביצוע הפעולה ישנן ?cols עמודות פנויות במשחק.
  - יש לשים לב כי המיקום של הקלף ?card השתנה ויש לעדכן את כל הפרדיקטים בהתאם.
- טיפ - יש לשים לב לשינוי במספר העמודות להשתמש בפרדיקט המוודא כי לאחר ההעברה של הקלף מספר העמודות הפנויות שנוצר הינו תקין.

## Sendtofree – מעביר את הקלף מערימה לתא חופשי.

- פרמטרים - ?card ?oldcard ?cells ?ncells
    - ?card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר.
    - ?oldcard הינו הקלף עליו מונח הקלף אשר נמצע בעמודה.
    - ?cells מספר התאים החופשיים הפנויים כעת.
    - ?ncells מספר התאים החופשיים הפנויים לאחר העברת הקלף
  - ניתן להעביר קלף רק אם:
    - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא.
    - הקלף אותו אנחנו מעבירים נמצא על oldcard.
    - ישנם תאים חופשיים אליהם ניתן להעביר את הקלף
    - מספר התאים החופשיים ncell הינו העוקב ל-cells.
  - לאחר העברת הקלף משנה את מיקומו להיות בתא חופשי, מספר התאים החופשיים מתעדכן בהתאם והקלף עליו הונח ?card הופך להיות בראש העמודה שלו. שימו לב – המיקום של הקלף השתנה ומכיוון שהעברנו את הקלף לתא חופשי אין אפשרות להניח עליו קלפים אחרים, יש להביא זאת לידי ביטוי. שימו לב, פעולה זו מקטינה את מספר התאים החופשיים.
- sendtofree-b** – כמו הנ"ל כאשר הקלף המועבר נמצא בתחתית העמודה שלו. כלומר, מעבירים קלף אשר הוא יחיד בעמודה בה הוא נמצא.

- פרמטרים - ?card ?cells ?ncells ?cols ?ncols
  - ?Card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר.
  - ?cells מספר התאים החופשיים הפנויים כעת.
  - ?ncells מספר התאים החופשיים הפנויים לאחר העברת הקלף
  - ?cols מציין את מספר העמודות הנוכחי כעת.
  - ?ncols מציין את מספר העמודות שיווצרו לאחר העברת הקלף.
- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא.
  - ישנם תאים חופשיים אליהם ניתן להעביר את הקלף.
  - מספר התאים החופשיים ncell הינו העוקב ל-cells.
  - בנוסף, הקלף ?card הינו הקלף בתחתית העמודה שבה הוא נמצא.
  - לפני ביצוע הפעולה ישנן ?cols עמודות פנויות במשחק.
- לאחר העברת הקלף משנה את מיקומו להיות בתא חופשי, מספר התאים החופשיים מתעדכן בהתאם והקלף עליו הונח ?card הופך להיות בראש העמודה שלו. שימו לב – המיקום של הקלף השתנה ומכיוון שהעברנו את הקלף לתא חופשי אין אפשרות להניח עליו קלפים אחרים, יש להביא זאת לידי ביטוי.
- טיפ - יש לשים לב לשינוי במספר העמודות להשתמש בפרדיקט המוודא כי לאחר ההעברה של הקלף מספר העמודות הפנויות שנוצר הינו תקין. שימו לב, פעולה זו מקטינה את מספר התאים החופשיים ומגדילה את מספר העמודות הריקות.

## Sendtonewcol – מעביר את הקלף מלהיות בראש עמודה קיימת לעמודה חדשה (ריקה).

- פרמטרים ?card ?oldcard ?cols ?ncols
  - ?card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?oldcard הינו הקלף עליו מונח הקלף אשר נמצע אותו אנחנו מעבירים
  - ?cols מספר העמודות הריקות לפני העברת הקלף
  - ?ncols מספר העמודות הפנויות לאחר העברת הקלף

- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא
  - הקלף ?card נמצא על הקלף ?oldcard
  - ניתן להעביר לעמודה ריקה כל עוד קיימת לפחות אחת כזאת. טיפ – מספר העמודות לפני ואחרי השינוי צריך לבטא שהיו קיימות עמודות ריקות במשחק.
- לאחר ההעברה הקלף ?card הופך להיות בתחתית העמודה אליה הועבר, מיקומו השתנה והקלף ?oldcard הופך להיות בראש הערימה שלו. שימו לב – מספר העמודות הפנויות גם צריך להשתנות בהתאם.

**הערה – על מנת לא לייצר יותר מידי פעולות אובייקטים עם הערך 0 תמיד יהיו בבית כשומרי מקום וככה ניתן להניח שתמיד ישנו קלף אחד בבית שמציין את הסמל שלו והערך שלו יהיה 0.**

**Sendtohome – מעבירה את הקלף לתא בית**

**(שימו לב, פעולה זו נתונה לכם על מנת שתוכלו להיעזר בה לטובת פתרון התרגיל).**

- פרמטרים ?card ?oldcard ?suit ?vcard ?homecard ?vhomecard
    - card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
    - ?oldcard הינו הקלף עליו מונח הקלף אשר אותו אנחנו מעוניינים להעביר
    - ?suit – הסמל של הקלף אותו אנחנו מעוניינים להעביר לערימת הבית.
    - ?vcard – הערך ה"מספרי" של הקלף אותו אנחנו מעבירים.
    - ?homecard – הקלף שנמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעוניינים להעביר את ?card.
    - ?vhomecard – הערך ה"מספרי" של הקלף שנמצא בראש ערימת הבית.
  - ניתן להעביר קלף רק אם:
    - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא
    - homecard הוא נמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעבירים את הקלף.
    - הקלף ?card נמצא על הקלף ?oldcard.
    - הסמל שלו זהה לסמל של הקלף בראש ערימת הבית וגם הערך שלו גדול מהערך של הקלף בראש ערימת הבית בדיוק ב-1 (יש לוודא כי הערכים של שני הקלפים הם אכן הערכים שלהם עצמם).
    - אם הערך לא גדול ב-1 אך הקלף הוא קלף ג'וקר וכל השאר מתקיים, עדיין ניתן להעביר את הקלף לעמודת הבית.
  - לאחר ההעברה הקלף ?oldcard הופך להיות בראש הערימה שלו והקלף שהעברנו משנה את מיקומו והופך להיות בראש ערימת הבית.
- sendtohome-b – כמו הנ"ל רק שהקלף המועבר הינו בתחתית העמודה אליה הוא שייך ולכן נוצרת עמודה חדשה.**

- פרמטרים ?card ?suit ?vcard ?homecard ?vhomecard ?cols ?ncols
  - card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?suit – הסמל של הקלף אותו אנחנו מעוניינים להעביר לערימת הבית.
  - ?vcard – הערך ה"מספרי" של הקלף אותו אנחנו מעבירים.
  - ?homecard – הקלף שנמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעוניינים להעביר את ?card.
  - ?vhomecard – הערך ה"מספרי" של הקלף שנמצא בראש ערימת הבית.
  - ?cols – מספר העמודות הפנויות לפני העברת הקלף.
  - ?ncols – מספר העמודות הפנויות לאחר העברת הקלף.

- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card הוא בראש העמודה שבו הוא נמצא
  - homecard הוא נמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעבירים את הקלף.
  - הסמל שלו זהה לסמל של הקלף בראש ערימת הבית
  - הערך שלו גדול מהערך של הקלף בראש ערימת הבית בדיוק ב-1 (יש לוודא כי הערכים של שני הקלפים הם אכן הערכים שלהם עצמם).
  - אם הערך לא גדול ב-1 אך הקלף הוא קלף ג'וקר וכל השאר מתקיים, עדיין ניתן להעביר את הקלף לעמודת הבית.
  - לפני העברת הקלף היו ?cols עמודות פנויות.
- לאחר ההעברה מספר העמודות הפנויות עולה ב-1 והקלף שהועבר הופך להיות בראש עמודת הבית אליו העברנו את הקלף.

Homefromfreecell – מעביר קלף לתא הבית מתא חופשי.

- פרמטרים - ?card ?suit ?vcard ?homecard ?vhomecard ?cells ?ncells
  - card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?suit – הסמל של הקלף אותו אנחנו מעוניינים להעביר לערימת הבית.
  - ?vcard – הערך ה"מספרי" של הקלף אותו אנחנו מעבירים.
  - ?homecard – הקלף שנמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעוניינים להעביר את ?card.
  - ?vhomecard – הערך ה"מספרי" של הקלף שנמצא בראש ערימת הבית.
  - ?cells – מספר התאים החופשיים לפני ההעברה
  - ?ncells – מספר התאים החופשיים לאחר ההעברה
- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card נמצא בתא חופשי
  - homecard הוא נמצא בראש ערימת הבית אליה אנחנו מעבירים את הקלף.
  - הסמל שלו זהה לסמל של הקלף בראש ערימת הבית
  - הערך שלו גדול מהערך של הקלף בראש ערימת הבית בדיוק ב-1 (יש לוודא כי הערכים של שני הקלפים הם אכן הערכים שלהם עצמם).
  - אם הערך לא גדול ב-1 אך הקלף הוא קלף ג'וקר וכל השאר מתקיים, עדיין ניתן להעביר את הקלף לעמודת הבית.
  - לפני העברת הקלף היו ?cells תאים חופשיים במשחק.
- לאחר ההעברה מספר התאים החופשיים עולה ב-1 והקלף שהועבר הופך להיות בראש עמודת הבית אליו העברנו את הקלף.

Colfromfreecell – מעביר קלף מתא חופשי לערימה קיימת (שיש בה קלפים).

- פרמטרים - ?card ?newcard ?cells ?ncells
  - card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?newcard הקלף שנמצא בראש הערימה אליה אנחנו מעבירים את הקלף.
  - ?cells מספר התאים החופשיים לפני ההעברה
  - ?ncells מספר התאים החופשיים לאחר ההעברה.
- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card נמצא בתא חופשי
  - newcard הינו הקלף בראש החבילה אליה אנחנו מעבירים.
  - לפני העברת הקלף יש ?cells תאים חופשיים
  - מספר התאים לאחר ההעברה הוא בדיוק +1 ממה שהיה לפני.

- לאחר ההעברה ?card הופך להיות בראש החבילה אליה העברנו והופך להיות על newcard? ומספר התאים עולה ב-1 (שימו לב לווידוא של מספר התאים לפני ההעברה).

**Newcolfromfreecell** – מעביר קלף מתא חופשי לערימה חדשה (כלומר, ריקה ללא קלפים).

- פרמטרים - ?card ?cols ?ncols ?cells ?ncells
  - card מייצג את הקלף אשר אותו מעוניינים להעביר
  - ?cols – מספר העמודות הפנויות במשחק לפני ההעברה.
  - ?ncells – מספר העמודות החופשיות לאחר ההעברה.
  - ?cells מספר התאים החופשיים לפני ההעברה
  - ?ncells מספר התאים החופשיים לאחר ההעברה.
- ניתן להעביר קלף רק אם:
  - הקלף ?card נמצא בתא חופשי
  - קיימת עמודה פנויה אליה ניתן להעביר את הקלף.
  - טיפ – מספר העמודות הפנויות קטן לאחר הפעולה ומספר התאים החופשיים גדל לאחר ביצוע הפעולה.
- לאחר ההעברה ?card הופך להיות בראש החבילה אליה העברנו כמו גם הקלף שבתחתית החבילה. שימו לב, מספר העמודות הריקות קטן כתוצאה מהפעלת הפעולה.

## הנחיות לביצוע העבודה

- עבור כל אופרטור יש להשלים את שתי הרשימות:

**preconditions -**

- הפרדיקטים הנדרשים עבור הפעלת אופרטור זה.

**effects -**

לפני פרדיקטים שמסירים יש לשים **not**. בתרגיל זה 2 פעולות כבר מולאו. פעולת move-b ו-syntohome. ניתן להיעזר בהן על מנת לבנות את שאר הפעולות הנוספות. דוגמא נוספת ל-syntax של כתיבת domain pddl ניתן למצוא בקובץ המצורף depot\_domain.pddl. מומלץ לעבוד עם vscode עם הפלאגין של PDDL של Jan Doljsi. זה מאפשר syntax highlights כמו גם אינפורמציה על שגיאות בכתיבת ה-domain.

### **Domain independent planner**

על מנת לייצר תוכניות ולפתור בעיות מצורף קובץ planner.py. בקובץ זה ישנו קוד המאפשר הרצה של domain independent planner.



לטובת תרגיל זה אנחנו נשתמש באלגוריתם fast downward בגרסה 22.06 אשר ניתן להורדה בקישור <https://www.fast-downward.org/Releases/22.06> (יש להוריד את הקובץ tar) ולבצע את הפעולות (כמובן ב-wsl)

```
tar -xvzf fast-downward-22.06.tar.gz
cd fast-downward-22.06
./build.py
```

הקוד בקובץ planner.py בודק האם קיימת תוכנית אשר פותרת את הבעיה שניתנת לו כפרמטר ואם כן מדפיס שהבעיה נפתרה ונותן אינדקציה להצלחה.

יש להזין לקובץ planner.py את הנתיב לתיקייה של fast downward במקום המיועד לכך ולהריץ את הקוד על פי ההנחיות בתיעוד. (שימו לב, בתחילת ה-script עליכם להזין את הנתיב ל-planner) והקוד צריך לרוץ בלינוקס \ WSL מכיוון וה-planner אינו עובד בסביבות windows.

שורת הרצה:

Python planner.py <path\_of\_dir\_domain\_and\_problems> <path\_of\_domain\_file>

### בדיקת נכונות

לטובת בדיקת נכונות של הפתרון שלכם מסופקות שתי בעיות שניתן לבדוק באמצעותן את ה-domain שסיפקתם. הבעיות הן pfile1.pddl ו-pfile2.pddl.

על מנת לבדוק את הנכונות הריצו את הקובץ planner.py כאשר הקלט בשורת ההרצה הוא הנתיב לקובץ ה-domain pddl שהגדרתם, הנתיב לקובץ הבעיה הנ"ל והנתיב לקובץ הפלט. לטובת השוואה מצורפים קבצי פלט לדוגמא.

יש לוודא כי לאחר חילוץ ה-planner הוא לא נשאר בתוך תיקייה מקוננת אחרת לא תוכלו להריץ אותו.

לעבודה זו קיימות בדיקות נוספות ב-VPL אשר עליהן תיבדקו.

# בהצלחה!