

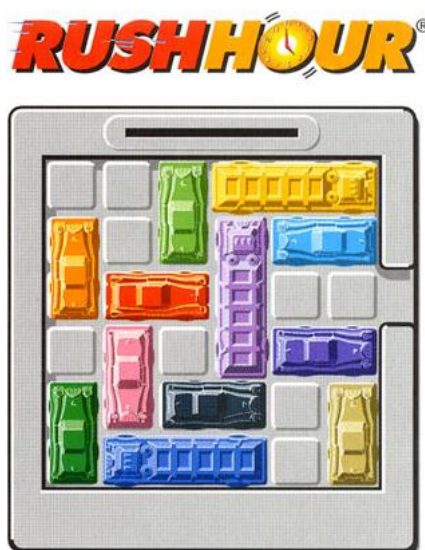
דוח עבודה

Rush Hour A* VS IDA*

ליעם כהן 31658368

הקדמה

Rush Hour - הוא משחק פאזל שהומצא ע"י נוב יושיגארה בשנות ה-70. הלוח מחולק ל 6×6 תאים וחור יציאה, בו רק הרכב האדום רשאי לעבור. המשחק כולל עד 12 מכוניות ו-4 משאיות שלוקחות 2 ו-3 תאים בהתאמה. כל פאזל הינו סידור של כלי הרכב על הלוח וכן על פי הסידור ההתחלתי כלי רכב רשאי לנוע בציר אחד בלבד. מטרת המשחק היא להוציא את הרכב האדום מפתח היציאה על ידי פינוי הדרך החסומה מרכבים אחרים.



Rush Hour הוא פאזל שלא נחקר הרבה יחסית. פלייק ובאום (2002) מתארים את הפאזל (בצורתו הגנרית) כ $PSPACE - Completeness$. כמו כן במאמרו של הפוטמן (2008) טוענים שלא נמצאה פונקציה יוריסטית מתאימה לבעיה.

A* - אלגו' חיפוש לרוחב, מונחה יוריסטיקה, המוצא את המסלול הזול ביותר מצומת המקור לאחר מצמתי היעד. עושה שימוש ב $priority\ Queue$ בשביל לקחת בכל פעם את הצומת הזולה ביותר. מחשב עלות על פי פונ' $f(x)$ אשר אשר משלבת יוריסטיקה $h(x)$, שהיא הערכה למרחק הנותר וכן $g(x)$ שהיא המרחק הידוע עד הצומת הנוכחית. על פונ' היוריסטיקה להיות $admissible$, כלומר לא יקרה יותר מהמרחק האמיתי לצומת היעד, בכדי להבטיח תוצאה אופטימלית.

IDA* - תוארה לראשונה ע"י ריצארד קורף ב-1985 והינה וריאציה של האלגו' IDDFS, אשר עושה שימוש בפונ' יוריסטיקה. בכל איטרציה מבצע DFS ומפסיק כאשר פונ' $f(x) = g(x) + h(x)$ מגיע לסף מסוים,

שבדרך כלל מתחיל בצומת הראשונה. בכל איטרציה מגדיל את הסף להיות הערך של פונ' העלות המינימלי, שגדול מהסף הקודם, מבין הצמתים שנתקלנו בהם באיטרציה הקודמת. בניגוד ל A^* ובמקרים רבים, נוטה לעבור על אותם צמתים מספר פעמים. גם כאן, על פונ' היוריסטיקה להיות admissible.

מטרת הניסוי

בניסוי הבא נבצע השוואה בין אלגוריתם A* לעומת IDA* על המשחק Rush Hour. נשווה בין האלגוריתמים בסוגיית ביצועים, זכרון ויעילות. נתמקד בפרמטרים הבאים:

- כמות הזמן של הריצה
- כמות הצמתים שפותחו (הוכנסו לזיכרון, וכן הורחבו והבנים שלהם ג'ונרטו)
- כמות הצמתים שג'ונרטו (נבדק עליהם תנאי מסוים, נעשתה פעולה שהיא, הוכנסו לזיכרון במקרה של A*)
- כמות הצמתים הכפולים (מתוך הצמתים שפותחו)

"All of the algorithms can handle easy to medium difficult puzzles, but IDA* can't solve tougher ones in a timely manner" Reynisson & Hilmarsson et al. (2008).

לאור מחקרי עבר, אשער את הדברים הבאים:

- זמן הריצה של A* יהיה טוב יותר מ IDA* , וכן שניהם לא יוכלו לפתור בעיות קשות.
- כמות הצמתים שיפותחו וג'ונרטו תהיה משמעותית קטנה יותר ב A*.
- הצמתים הכפולים ב IDA* יהיו רבים, ויהוו את אחד הגורמים המשפיעים לחוסר יעילות האלגוריתם.

תיאור מהלך הניסוי

כוח חישוב –

רץ על Google Colab לשחזור קל של הניסוי

- n1-highmem-2 instance
- 2vCPU @ 2.2GHz
- 13GB RAM
- 100GB Free Space

מימוש הפאזל –

מימשי מחלקה לרכב, המחזיקה מיקום הרכב לפי $X Y$ על הלוח ופרטים מזהים. לרכב פעולת הזזה.

כמו כן מימשי מחלקה ללוח המשחק, המכילה פרטים מזהים וכן מערך כלי רכב שהוא המבדיל בין STATES השונים. ללוח פונ' מהלכים שבוחנת את הרכבים ומחזיקה את כל המהלכים האפשריים ל-STATE הקיים מניתוח הרכבים.

מחלקה נוספת הינה **priorityQueue** שבנוסף לתור מכילה dict לבדיקה מהירה של ערכים.

לניסוי מימשי שני סוגי יוריסטיקות, שהן מהנפוצות ביותר במאמרים הנוגעים בבעיה זו:

- המרחק של הרכב האדום לסוף + מספר הרכבים שחוסמים את הדרך (נקרא B)
- המרחק של הרכב האדום לסוף + מספר הרכבים שחוסמים את הדרך + מספר הרכבים שחוסמים את הרכבים שחוסמים את הדרך לרכב האדום (נקרא BB)

היוריסטיקות admissible מכיוון שבשביל לנצח חייב לזוז לפחות את המרחק מהסוף + כל רכב שחוסם רכב חוסם, או ישירות את האדום מצריך תזוזה אחת נוספת לפחות.

לבסוף, מחלקת Solver שמכילה את מימוש האלגוריתמים ומחזיקה משתנים שונים לצורך מעקב.

מימוש A* - תחת הפונ' solve, ממומשת בצורה של A* LATE ממאמר מספר 2 של פלנר שניתנו לנו לפרויקט.

מימוש IDA* - תחת הפונ' solveIDA ממומשת בעזרת [זה](#)

מהלך הניסוי –

ראשית מימשי את A* ללא יוריסטיקה, שזהו בעצם BFS וסיווגתי בעיות קשות. לאחר מכן מימשי גם את היוריסטיקות ואת IDA*, הרצתי על מספר בעיות ברמות קושי שונות וצימצתי את הבעיות לחמישה, שמצורפים בעבודה, כך שהקשה ביותר לוקחת 15 דקות לאלגו' הארוך ביותר.

לבסוף, ביצעתי את A* ו-IDA* על חמשת הבעיות, עם שני יוריסטיקות שונות

להלן states חמשת הבעיות:

.	.	.	A	A	O
.	.	.	.	.	O
B	.	.	R	R	O
B	.	.	.	.	.
.	X	X	X	.	.
.

.	.	.	.	A	A
.	.	.	C	C	O
.	R	R	.	Q	O
.	.	.	.	Q	O
.	.	.	.	Q	.
.	.	X	X	X	.

.	.	.	.	.	O
.	.	.	Q	.	O
.	R	R	Q	.	O
.	.	.	Q	.	.
B	X	X	X	.	.
B	.	.	.	.	.

.	.	A	A	P	.
.	.	.	Q	P	.
.	R	R	Q	P	.
.	.	.	Q	C	C
.	X	X	X	.	.
.

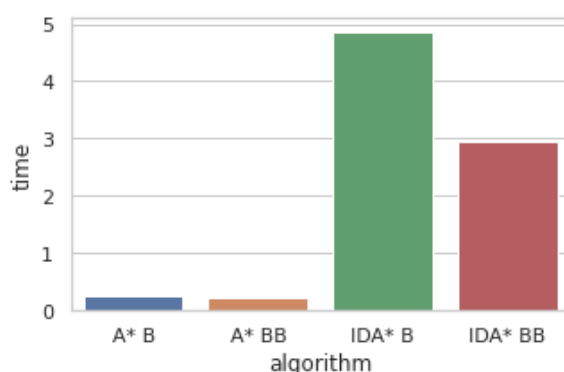
.	.	.	.	.	O
P	.	.	Q	.	O
P	.	.	Q	.	O
P	.	.	Q	.	.
B	.	C	C	.	.
B	.	X	X	X	.

תוצאות הניסוי

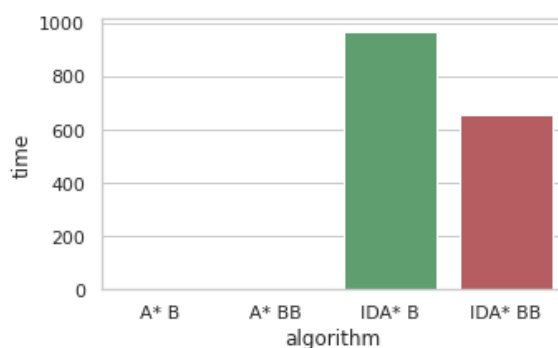
תוצאות הניסוי מחולקות למספר גרפים, אראה פה גרפים נבחרים, ואת כלל התוצאות ניתן יהיה לראות בקובץ [github](#).

זמנים:

- אנו יכולים לראות ש $A^* BB$ במעט יותר מהיר מ $A^* B$, אך שניהם משמעותית יותר מהירים משני הוריאציות של IDA^* כבר בבעיות יחסית פשוטות. (גרף בעיה מס' 3, נחשבת בעיה קלה)



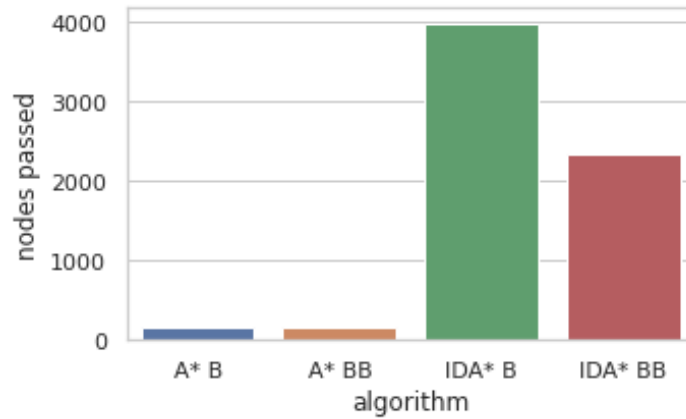
- הבעיה מספר 5 נפתרת ב15 צעדים, כאשר A^* פותר בערך בזמן של שנייה, לוקח אקפונציאלית יותר זמן מה שמקשה השוואה לבעיות מסובכות יותר. (גרף בעיה מס' 5)



- $IDA^* BB$ אכן רוכש יתרון משמעותי על $IDA^* B$ אבל עדיין נופל בגדר אלגו' לא יעיל.

צמתים שהורחבו:

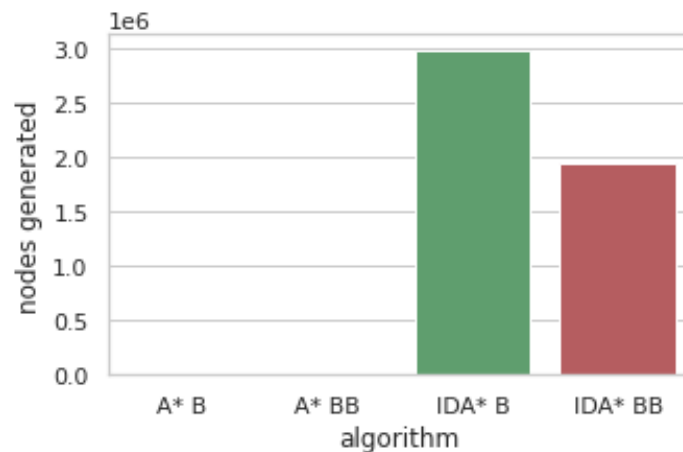
- כמו בזמנים, גם כאן החל מבעיות יחסית פשוטות, יתרון משמעותי ל A^* על IDA^* . (גרף מס' 3)



- יחסים זהים בין כלל האלגוריתמים כמו בזמנים, מבציע על הגורם המרכזי המשפיע על הזמן.

צמתים שג'ונרטו:

- A* מג'ונרטים מספר מאוד נמוך של צמתים, בעיקר ביחס ל IDA* (גרף בעיה מס' 5)



- IDA * BB מג'ונרט משמעותית פחות צמתים מ IDA * B, במיוחד שמדובר בסדרי גודל של מאות אלפי צמתים

כפילויות:

בהגדרת A* יודע לא לעבור על צמתים שהוא עבר עליהם בעבר וזו היא בעיה של IDA* בלבד.

- יחס הכפילויות פרופורציונלי ליחס הזמנים וליחס הצמתים שהורחבו

מסקנות הניסוי

נתייחס להשערות:

1. זמן הריצה של A^* יהיה טוב יותר מ IDA^* , וכן שניהם לא יוכלו לפתור ביעילות בעיות קשות.
(i) אכן זמני הריצה של A^* היו משמעותית טובים יותר מ IDA^* , כבר בבעיות פשוטות. כמו כן, בבעיה מספר 4 ו-5, גם ל A^* התחילו לעלות הזמנים, בין שנייה לשתיים של חישוב. כאשר מסתכלים על היחס של פתרון בגודל 15 צעדים שנחשב יחסית קטן וכן קיימים בעיות עם פתרונות גדולים הרבה יותר (30, 40 וכו...) שדורשים חישוב אקפוננציאלי (אסביר בהמשך) זה לא זמן ריאלי ולא נמצא פתרון בזמן (לדוגמא משחקים בזמן אמת).
2. כמות הצמתים שיפותחו ויג'ונרטו תהיה משמעותית קטנה יותר ב A^* .
(ii) בחלק גדול של המקרים היוריסטיקות אינם מייצרות הבדלה בין states ולכן כאשר מגיעים depth חדש, לא מבצעים סינון מספיק רחב, ובחלק גדול מן הריצה האלגוריתמים יבצעו כמעט bfs. זה נובע מכך שמספר הבנים הממוצע לכל state נופל כנראה באזור 8, ולפתרונות רבים היוריסטיקה מתחילה להציג הבדלים רק אחרי עומק גדול, ג'ינרטו והרחבה של צמתים תהיה כמעט מלאה.
3. הצמתים הכפולים ב IDA^* יהיו רבים, ויהוו את אחד הגורמים המשפיעים לחוסר יעילות האלגו'.
(iii) לנוכח הנקודה הקודמת, IDA^* מבצע פעמים רבות הקנייה של threshold חדש וכן מעבר מחדש על העץ ולכן החזרה על צמתים כפולים בהחלט גדולה.

מסקנות:

- בשני האלגוריתמים, ליוריסטיקה BB יתרון חד משמעי.
- היוריסטיקות אינם מספיק טובות ולא מייצרות מספיק הבדלה בין מצבים, מה שמונע את יעילות האלגו'.
- במקרים רבים ל IDA^* יתרון על A^* אך במקרה הנוכחי אין זה המצב בגלל יוריסטיקה לא מותאמת

נספח

:GitHub

<https://github.com/liamcoh/RushHourProject>

ביבליוגרפיה:

קישורים –

https://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm

https://en.wikipedia.org/wiki/Iterative_deepening_A*

<https://github.com/jheiderup/rush-hour>

https://www.algorithms-and-technologies.com/iterative_deepening_a_star/python

מאמרים –

Brynjar Reynisson & Ívar Björn Hilmarsson. Rush-Hour puzzles solved with multiple search algorithms. Reykjavik University T-622-ARTI (2008)

Hauptman, A., Elyasaf, A., Sipper, M., & Karmon, A. (2009). Gp-rush: using genetic programming to evolve solvers for the rush hour puzzle. In Proceedings of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation (pp. 955–962). ACM.

G. W. Flake and E. B. Baum. Rush Hour is pspace-complete. Theor. Comput. Sci. ,270(1-2):895–911, 2002

מאמרי הקורס