**Intro to AI HW2 – Dry:**

**לתקן גוף ראשון יחד לגוף ראשון רבים**

**סטודנטים:**

עמית ענבר - 315836569

לינוי גנטי - 208536284

1. האסטרטגיה של שחקן זה היא להימנע מבורות בעומק 2 (2 מהלכים מראש)

ולהיצמד לקירות (-1 במפה) .

יתרונות:

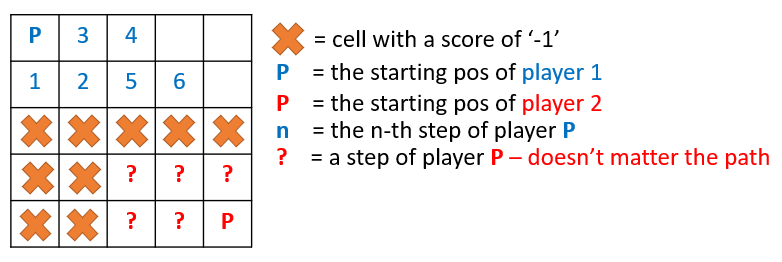
1. ממלא מפה שלא מגיעה עם בורות בצורה מיטבית אם היה משחק בה לבד.
2. נמנע מלעבור למשבצת אם אין ממנה מהלכים אפשריים (נמנע מתאים **שמסווגים** כבורות) כל עוד יש לשחקן אפשרות נוספת (ייתכן והמהלך היחיד שנותר הוא להיכנס לבור)

חסרונות:

1. "ראייה" של 2 מהלכים קדימה סה"כ והיא אינה מתחשבת במהלכים אפשריים של ה-"אויב".
2. התנהגות צפוייה שניתן לנצל.
3. גם עם "ראייה" של 2 מהלכים קדימה ניתן להיכנס לבורות בעומק גדול (ממש) מ-1:



1. דוגמא:



הסבר:

נבחין כי במקרה זה, לא משנה מה השחקן האדום (היריב) עושה, הכחול תמיד ינצח כיוון שהשחקן

הפשוט יימלא את כל התאים בצד שלו (כממוספר) בעוד שהאדום ייחסם לכל היותר אחרי 5 צעדים מצידו.

1. יתרונות:

* דירוג גבוה יותר של מסלולים שעוברים דרך פירות ובכך משפר את הסיכוי לקבל ניקוד גבוה.
* שימוש במידע נוסף מלבד חיפוש עיוור (היוריסטיקה מיודעת).

חסרונות:

* ייתכן ולא קיים מסלול בין המיקום הנוכחי לפרי (יש חסימה בכל מסלול אפשרי לפרי).
* אם אין פירות על הלוח בשלב כלשהו במשחק, ההיוריסטיקה לא מוגדרת – מה היא מחזירה במקרה כזה?
* יכולים להיות קירות (-1) החוסמים את כל המסלולים מהמיקום הנוכחי לפרי שאורכם הוא מרחק מנהטן מינימלי מהמיקום הנוכחי לפרי כך שיכול להיווצר מצב בו אנחנו רק "מתרחקים" במסלול הקיים מהמיקום הנוכחי לפרי. דוגמא:



* ההיוריסטיקה יכולה "להתבדות" אם קיים מסלול עם מרחק מנהטן אך הפרי נעלם לפני.
* יכול להיווצר מצב בו "נחתוך" את השטח שהשחקן שלנו יכול להגיע אליו ובכך "להיחסם" מוקדם יותר.
* אם הפרי נמצא בתוך בור אולי לא משתלם לקחת אותו.

1. **נגדיר פרמטר בו אשתמש**: יהי  קבוע שלם כלשהו כך שהוא קטן-שווה ממחצית הצלע הקטנה במפה.

* רכיב 1 – מספר תאים פנויים בסביבה הקרובה:

אגדיר מטריצה  כך שהשחקן שלנו במרכז

(תוך התעלמות מתאים שנמצאים מחוץ למפה) ואסכום בה את הניקוד של כל התאים שערכם חיובי אחרי הוספת 1 (פנויים או מכילים פרי), כי לסכום תאים פנויים שערכם 0 לא עוזר לנו, ואשמור במשתנה:



* רכיב 2 – מספר קירות/מכשולים בסביבה הקרובה:

אגדיר מטריצה זהה למטריצה שברכיב הקודם רק שהפעם אסכום את כל התאים במטריצה הממורכזת שהם בלוקים (שליליים) ואכפיל ב-(1-) כדי שהתוצאה תהיה חיובית. (אם יש 4 קירות אז אקבל 4-):



* רכיב 3 – מרחק מנהטן מינימלי מהפרי הכי קרוב:

כמו שהוגדר בשאלה 3, אחשב רכיב זה ואשמור במשתנה:



כאשר האינדיקטור מחזיר 1 רק אם:

* + הפרי לא יעלם עד שנגיע אליו.
  + השחקן היריב רחוק יותר (עפ"י מנהטן) מהפרי.
* רכיב 4 – מרחק מנהטן מינימלי מהשחקן היריב:

מרחק מנהטן מהשחקן שלנו ליריב:



כעת, אאחד להיוריסטיקה אחת:



כפי שניתן לראות, ישנו אינדיקטור שיחזיר 0 רק אם המצב s הוא בור ואז ניתן לו דירוג מינימלי של 0.

כמו כן, הוספת ה-(1+) נועדה למנוע מצב של חלוקה ב-0 ובמונה הוסף "כתיקון" להוספה במכנה.

מוטיבציה:

* **מונה (כחול/אדום):** חלוקה של הניקוד של התאים הפנויים בתאים החסומים ייתן לנו תוצאה מינימלית כאשר אנחנו נכנסים "לאיזור" עם הרבה תאים חסומים ותוצאה מקסימלית אם ניכנס לאיזור עם הרבה תאים פנויים+פירות.
* **מכנה (כתום + ירוק):** ככל שהמכנה יותר קטן כך ההיוריסטיקה יותר גבוהה.

(מכנה מינימלי = היוריסטיקה מקסימלית ולהיפך).

**כלומר**, אם המרחק מנהטן מהפרי הכי קרוב (אם ניתן להגיע אליו בזמן) מינימלי נקבל היוריסטיקה גבוהה וזה טוב מאחר ואכילת פירות מקדמת אותנו מאוד במשחק (מטרה משנית).

**בנוסף**, אם המרחק מהיריב מינימלי נקבל היוריסטיקה גבוהה (ולהיפך) – הרעיון פה הוא שבשילוב עם שאר הרכיבים, ההיוריסטיקה תביא להתנהגות יחסית אגרסיבית שתשאף לחסום את היריב בהזדמנות ראשונה.

נ.ב: (אולי נמחק את השורה) ניתן גם לשים כפל במקום חיבור אך אני מפחד מהערכים הקיצוניים שניתן להגיע אליהם. (נשאר פה בהערה מודגשת לשיקול בהמשך)

רעיונות למימוש לתחרות?:

* אולי כדאי פעם בכמה תורות לעדכן משתנה שנקבע ע"י "האם קיים מסלול bfs/astar בין השחקנים וברגע שההחזרה היא false מפסיקים לבדוק את זה ואז מתעלמים מהרכיב של המרחק מהיריב.
* אפשר להוסיף בדיקה ספציפית שמתחת למרחק מסויים מהיריב (קבוע) מתחילים באלגוריתם דטרמיניסטי לחסימה של היריב.
* היוריסטיקה שקשורה למרחק מהקיר הכי קרוב (של המפה?)
* במקום מטריצה שמורכבת רק מ-a אולי להוסיף גם רכיב b (צלע קטנה-גדולה)...

אולי בכלל במקום מטריצה לעבור על כל התאים עד מרחק מנהטן מסויים ולספור אותם.

* אולי במקום לתת דירוג זהה לכל איבר במטריצה, לתת דירוג יותר גבוה לתאים הקרובים יותר למרכז.

דוגמא לשינוי בסגנון של הרכיב הראשון: (ניתן גם ברכיב השני)



1. כן – בכל שלב בעץ המינימקס בו בוררים צעד של אחד האויבים נלקח המינימום מהבנים שלו (רקורסיבית עד שמגיעים לשלב בעץ בו אנחנו בוררים את התור שלנו – שם נקח מקסימום)
2. חסרונות:
   1. המרחק בעץ המינימקס בין המהלכים שלי גדול מאוד בשיטה זו ולכן נוצר מצב שבחיפוש עד עומק סופי כלשהו בעצם בדקתי מספר בודד של צעדים **שלי** קדימה. – יכול לגרום לכניסה למצבי בורות טרוויאלים וזה לא פרקטי.
   2. מתייחסים לכל האויבים באופן שווה ו-"מפחדים" מכולם – בעצם אסטרטגיה פחדנית ואף פרנואידית שיכולה לגרום לתוצאה שרחוקה מלהיות אופטימלית.
3. טרמינולוגיה: עבור  שחקנים: , .

תהיי  פונקציית דירוג (היוריסטיקה) לשחקן עבור כל אחד מצעדיו האפשריים.

לכל שחקן  וצעד אפשרי  נחשב את הדירוג: .

ונקח את התוחלת של של כל הצעדים האפשריים ונמקם אותם בטבלת דירוג הממוינת

לפי  אותה (את הטבלה) נעדכן בכל צעד שנבצע.

אקדיש לכל האויבים שלי שכבה אחת בעץ המינימקס בכל איטרציה באופן הבא:

אמשקל את כל צמתי הבנים (מתוכם אבחר את המינימלי) כך:



(אדגים עם טבלת דירוגים ספציפית לדוגמא)

טבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| average score | player | rank |
| 789 | 2 | 1 |
| 456 | 4 | 2 |
| 123 | 3 | 3 |

כעת, לכל צעד אפשרי של האויב אסכום את הניקוד המשוקלל של כל האויבים:



בדוגמא שלנו, בתור הבא של (מטעמי נוחות ומינימליות אניח כי יש לכל היותר 2 פעולות אפשריות):

בהינתן:



מתקיים:

***(יש המשך )***

ואמקם בעץ כבן של  עבור האופרטור  ומתוך הבנים האלו אבחר את המינימלי.

וכך גם אעשה עבור שאר השחקנים רק שעבורם, עבור שחקן :



בעצם, הרעיון באלגוריתם שלנו הוא לדרג את האויבים שלנו ולמשקל אותם לפי טיב היסטואציה שלהם ובכך לגרום לסוכן שלנו "לפחד" מההתקדמות של הסוכנים "החזקים" יותר מאשר מההתקדמות של הסוכנים "החלשים" תוך מיקסום (מקסימום) הניקוד העצמי.

1. תשובה:
2. **כן (במקרה הכללי)**, גיזום הענפים ב-alpha-beta יחסוך ביקורים במצבים שפסלנו ולכן יהיה מהיר יותר מ-minimax או במקרה הגרוע יהיה איטי באותה מידה כמו ה-minimax.
3. **לא**, alpha-beta פוסל רק צעדים שיחמירו את מצב הסוכן שלנו ולכן יתקדם בדיוק כמו minimax רק מהר יותר. בנוסף אין סיבה לחשוש מגיזום של ענפים שב-minimax היו משמשים אותנו לדרך הטובה ביותר מאחר ובשאלה התבקשנו להשוות בין האלגוריתמים כאשר **שניהם** כפופים לאותה מגבלה על העומק.

1. תשובה:
2. **לא בהכרח**, בגיזום הענפים ב-alpha-beta עם סידור ילדים אנו מסתמכים על היורסטיקה כדי לסדר את הילדים ולכן נחלק למקרים:

במקרה בו ריצת היורסיטקה מהירה אנו משארים כי גיזום alpha-beta עם סידור ילדים ירוץ יותר מהר מאשר בגיזום alpha-beta .אך במקרה בו ריצת היוריסטיקה מאוד ארוכה ריצת בשיטת גיזום -alpha-beta תהיה מהירה יותר מאשר בשיטת גיזום alpha-beta עם סידור ילדים.

1. **לא בהכרח,** נניח שהאלגוריתם alpha-beta והאלגוריתם alpha-beta עם סידור ילדים מפתחים משמאל לימין וכי יש במהלך הפיתוח של העץ בעומק 2 שני ערכים בעלי ערך זהה. אלגוריתם alpha-beta יבחר ללכת לצד שמאל בתור מהלך אך במקרה של alpha-beta עם ילדים יש אפשרות כי אלגוריתם זה יסדר את הילדים הזהים בערכם בסדר הפוך( היורסטיקה סידרה אותם כך) ולכן למרות שאלגוריתם זה יבחר גם את הצד השמאלי בטור המהלך הבא שלו ,בצד זה ישנו מהלך שונה מהמלך שנבחר באלפא בטא ולכן האלגוריתמים לא בהכרח יבחרו באותו מהלך בהכרח.
2. תשובה:

Anytime contact הינה שיטה בה בעצם משנים את הגדרת הבעיה. במקום להחזיר את הצעד הטוב ביותר אנו רוצים להחזיר את הצעד הטוב ביותר (שמצאנו בינתיים) תוך k שניות.

העמקה הדרגתית זו שיטה המקובלת להתמודדות עם מגבלת הזמן לכן נגביל את העומק אליו האלגוריתם יכול להגיע בכל איטרציה ובכך נעמיק את החיפוש ב-"קצת" כל איטרציה עד שיגמר הזמן.

אם ב-minimax בלי הגבלת עומק אנחנו **יודעים** להסיק את הערכים של כל העלים בעץ מלכתחילה אז בווריאציית Anytime contact של minimax, בונים עץ minimax בעומק מוגדר מראש (בד"כ יהיה מאוד קטן באיטרציה הראשונה), מחשבים מסלול מיטבי ואז ובכל איטרציה מגדילים את עומק החיפוש כדי למצוא צעדים יותר טובים (כי הם יותר "מיודעים") מהצעדים שנמצאו באיטרציה הקודמת ומכיוון שלא "נתון" לנו, בכל איטרציה, המשך העץ המלא עד העלים (מצבי היעד) מחשבים היוריסטיקה כלשהי עבור הצמתים העמוקים ביותר בכל איטרציה (שכנראה אינם עלים בעצמם באיטרציות הראשונות) ולפי ערכים אלו בונים עץ minimax "זמני", שמתאים לאיטרציה הנוכחית, בעומק מוגבל ומוצאים את המסלול המיטבי עבור אותו העומק.

1. תשובה: הבעיה בהעמקה הדרגתית המוצגת בהרצאה הינה בעיית האיטרציה האחרונה.

בממוצע, האלגוריתם יופסק באמצע האיטרציה האחרונה שלו והצעד "המיטבי" שיוחזר הוא התוצאה של האיטרציה הקודמת. האיטרציה האחרונה צורכת הרבה משאבים וחבל לא להשתמש במידע שהגילינו שם לכן הפתרון שהוצא בהרצאה היה שבכל איטרציה נשמור את הערך המינימקס של כל אחד מהבנים ברמה העליונה ובכך ננצל את המידע שהשגנו למרות שחלק מהבנים שברמה העליונה מחושבים עד עומקים שונים.

1. בהתחלה אגדיר רעיונות ומושגים ובסוף אחבר את הכל:

* **רעיון 1:**

אבחנה: נראה שבתורות הראשונים אין הרבה סיכונים ובתורות האחרונים אין הרבה אפשרויות בחירה גם ככה אז אקצה פחות זמן בהתחלה ובסוף.

אז איך אגדיר מתי אני בהתחלה/אמצע/סוף?:

* + אם מימדי המפה הם  ונתון לי מספר התאים החסומים (-1): 

אז אגדיר: 

ואתאים פונקציה: 

(כך שב- יינתן פי 2 זמן לכל תור מאשר משאר ה--ים)

כך שבינתיים אפשר להגדיר:



* **רעיון 2:** (מתאים בעיקרון רק למשחק שבמטלה כרגע אך ניתן לשנות אותו בהתאם למשחק)

אבחנה: אם הגענו לתור בו היריב "קרוב" לסוכן שלנו נרצה להקצות יותר זמן עבור חישוב הצעד.

איך אגדיר קרבה ואיך נשתמש בה?:

* + בהינתן פונקציית מרחק מנהטן כמוגדר בסעיפים הקודמים נסמנה: 

אז אגדיר: 

וכעת אחבר לרעיון הקודם כך שבינתיים:



נבחין כעת כי הרעיון השני יכול לגרום לנו לחרוג מהזמן הגלובלי הנתון לקראת סוף המשחק לכן אגדיר חסם שרירותי (שניתן לשנותו בהתאם לבדיקות וניסויים עם פרמטרים שונים) של 90% כאשר אם עבר 90% מהזמן הגלובלי הנתון אניח שברוב המקרים זה אומר שעברנו את המקטע הבעייתי עם היריב או שלפחות הגענו ל-phase של סוף המשחק (phase=3) אז החל מנקודה זאת אפעיל את האלגוריתם הנאיבי לטיפול בזמן רק שבמקום הפרמטר global\_time אציב את הזמן הנותר

(שאמור להיות באיזור ה-0.1\*global\_time)

ואחשב מחדש את num\_turns כך שיהיה רלוונטי.

1. אפקט האופק הינו תופעה בה אלגוריתם מוגבל משאבים בוחר צעדים "סתמיים" כדי לדחות "צרות" מעבר לאופק החיפוש כלומר הוא נמנע מצעדים מסוכנים לו ומבצע פעולה כי הוא מוגבל בעומק ולכן מחליט לא להחליטהפתרון לאפקט האופק הינו העמקה סלקטיבית -מפתחים את העץ עד העומק המוגדר באיטרציה הנוכחית ואם מקבלים עלים "לא שקטים" (נקבע עפ"י קריטריון מוגדר מראש) נעמיק עוד שכבה בחיפוש לבדוק אם הערך ההיוריסטי התייצב – אחרת מעמיקים עוד קצת ועוד קצת עד שנגיע לרגיעה (התייצבות הערך ההיוריסטי למשל) או עד עומק קבוע מסויים שמוגדר מראש להעמקות סלקטיביות של האלגוריתם.

(בתרגול סימנו עומק זה כ-k ולכן עומק תת העץ של הבן הלא יציב הוא סה"כ D+k כאשר D הוא עומק ההעמקה באיטרציה הנוכחית)

פתרון זה יכול לעזור לנו במשחק הנתון במקרים:

1. מקרה בו הסוכן שלנו יכול לפגוע בעצמו ע"י החלטה גרועה.
2. מקרה בו האויב מקדם את עצמו מאוד כתוצאה מהזנחה של נקיטת פעולות נגדו.

דוגמאות:

1. מצב בו אנחנו יכולים להכניס את עצמנו לבור (יכולים לחסום את עצמנו):

אתייחס לעומק חיפוש 2 כ-"שדה ראייה" של 2 צעדים קדימה.

כלומר, בהינתן המצב: (אדום יריב, כחול "אני")



"שדה הראייה" של הסוכן שלי הוא:



וקל לראות שהסוכן שלנו ייחסם תוך 2 צעדים בשביל לקחת את הפרי בעוד שאם היה מנסה ללכת לפרי השני כנראה שהיה לו סיכוי והיה מנצח.

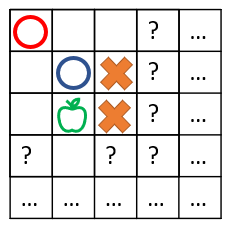
1. מצב בו האויב לוקח פרי ומעלה לעצמו משמעותית את הניקוד:

(אשתמש באותם פרמטרים ודימויים כמו בדוגמא הקודמת)

כלומר, בהינתן המצב:



"שדה הראייה" (=2 צעדים קדימה) של הסוכן שלי הוא:



כעת קל לראות שהסוכן שלנו לא ינסה לחסום את היריב אלא ייקח את הפרי הקרוב אליו בעוד שאם היה מעמיק אפילו בצעד בודד היה חוסם את היריב ולוקח את "השלל" לעצמו ובכך מנצח.

1. בעצם ערך המינימקס מהריצה הקודמת זה חסם תחתון של  וחסם עליון של לאחר ריצת האלגוריתם.

אז כעת, במקום לאתחל את  למינוס אינסוף ואת  לאינסוף (או ערך ספציפי אחר כלשהו) בכל שלב של העמקה במינימקס, ניתן לאתחל אותם באופן הבא:

נגדיר  כלשהו כך ש- ו- יאותחלו בסביבת  של ערך המינימקס.

צריך לבחור  לא קטן מדי כדי שלא יגזום את המסלול הרלוונטי אבל מספיק קטן כדי שהגיזום לפיו יגזום מראש כמה שיותר תתי עצים.

אם נבחר  גדול מדי, הריצה החוזרת של האלגוריתם תקח משך זמן דומה לשל הריצה הקודמת.

כלומר, נאתחל: .

ובכך גם נגזום מראש כמה שיותר תתי-עצים שמיותר לפתח וגם אנחנו מבטיחים שיוחזר הצעד שהיה אמור לחזור בהרצה הקודמת.

כמו בריצה רגילה של אלגוריתם אלפא-בטא ללא שינויים, המקרה הגרוע ביותר הוא בו הגיזום נעשה רק בבן האחרון במקום

1. **נסמן:**

 = פונקציית ה- של מצב היעד.

יהי  מקדם הסיעוף של הסוכן המקרי, אגדיר את פונקציית הערך המשוקלל של כל צומת בן של צומת סוכן מקרי

כך:



כלומר, האופן בוא נחשב את התוחלת של צמתים אלו הוא:



עבור ההיוריסטיקה  הנתונה, אסמן: 

יהי  הצומת הנוכחי בלולאה עבורו אני מחשב את הערך המשוקלל, כך ש-: 

וכעת אבחן מתי אגזום בכל אחד מהמקרים לפי סוג צומת האב של הצומת האקראי הנוכחי – אם הוא מינימום/מקסימום: 

* **צומת אב מקסימום (שלנו):**

אז אנחנו יודעים שהוא ייבחר



* **צומת אב מינימום (של היריב):**

ג



1. **הערה: לאורך השאלה אניח שמדובר על עצים שלמים אז מה שמחושב בכל הסעיפים הם החסמים העליונים.**

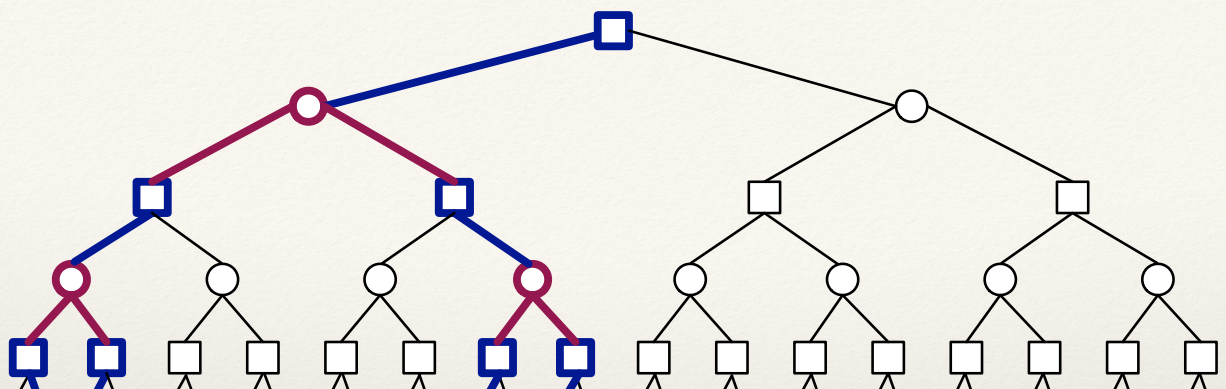
א. החלטתו של השחקן לא תשאיר זמן בכלל לחישוב *B-1* הצעדים הבאים, אראה ע"י חישוב פשוט באמצעות ערך משולש:



כלומר, צריך  דקות על מנת לחפש בצעד הראשון עד לעומק  ואז לא ישאר זמן לשאר *B-1* הצעדים הנותרים אז כנראה שייבחר באקראי צעד בכל אחד מהם או שהשחקן פשוט ייפסל.

ב. תשובות:

1. נתבונן בשקופית מההרצאה:

**

*אם נתבונן רק על הקשתות הסגולות (של היריב) נבחין כי אפשר לחבר כל צומת ריבוע (מקסימום) לצומת עיגול (מינימום) שתחתיו לצומת יחיד ואז נקבל עץ סגול מלא רגיל בעומק של*  אז כעת נחשב את מספר הקשתות של היריב:



כלומר, סכום של סדרה הנדסית כאשר  עומק תת-העץ המפותח מהצעד הראשון ו-:



*וכעת אחשב את מספר הקשתות שנשמור בשבילנו כאשר לא אתחשב בקשת הבודדת שאנחנו שומרים עבור הצעד הראשון.*

*חישוב: קשת אחת עבור כל קשת של היריב אלא אם השכבה האחרונה היא שכבת מינימום – של היריב. כלומר:*



1. *כאשר נשמור את האסרטגיה של הצעד הראשון, במקום שנצטרך לחשב את הצעד הבא תוך 0 זמן (מסעיף א' לא נשאר זמן ל-B-1 הצעדים בהמשך), אנחנו "זוכרים" איך להגיב לכל אחד מבין B-1 הצעדים הבאים.*

*ובכך בעצם השתפר המצב מסעיף א' שאם קודם האופציות היו או להיפסל או לבחור צעד באקראי ב-B-1 המהלכים הבאים אז עכשיו יש אסטרטגיה (כלשהי) עבור B-1 (אולי פחות אם**) צעדים אלו.*

1. *נחלק את מהלך המשחק לקבוצות של B מהלכים.*

כעת אבחן מה קורה אם:

1. :

אז ל- *Bהצעדים הראשונים יהיה מענה "מיודע" כלשהו ול-* הצעדים הנותרים לא יישאר מספיק זמן כמתואר בסעיף א'.

כלומר, במקרה זה הביצועים יהיו **גרועים** בהרבה משל שחקן מינימקס רגיל שמחפש עד עומק .

1. :

אז לכל מהלך  מתוך קבוצת המהלכים, השחקן ששומר את האסטרטגיה ייקח את הצעד הבא כמו סוכן מינימקס שחיפש עד עומק של .

כלומר, בכל קבוצת מהלכים המהלך הראשון נבחר כמו ששחקן מינימקס שמחפש עד עומק של היה בוחר

והמהלך השני היה נבחר באופן דומה רק כמו שחקן מינימקס שמחפש עד עומק של  וכו'.

כלומר, במהלך הראשון הוא "רואה" יותר קדימה מאשר שחקן מינימקס רגיל (שמחפש עד עומק של )

והחל מהמהלך השני הביצועים שלו לעומת שחקן מינימקס רגיל יהיו: או **זהים, או גרועים יותר**.

כלומר, במקרה בו הצעד הראשון בכל קבוצת צעדים הוא קריטי יהיה יתרון מסויים לשחקן ששומר את האסטרטגיה ובמקרים אלו הביצועים יכולים להיות **טובים** יותר משל שחקן מינימקס רגיל.

**אבחנה**: אם  (גדול בהרבה) אז ההבדל בין השחקן החדש לשחקן מינימקס רגיל שמחפש עד עומק  בקושי מורגש.

(במקרה הפרטי: כאשר , הצעד הבא ייחושב עפ"י ההיוריסטיקה בלבד)

1. **בדיוק כמו שמפורט (מאוד) בסעיף 4.**
2. ג
3. ניהול זמנים:

* **זמן מוגבל לתור:**

עבדתי עם שני משתני זמן "רצים" – tick, tock כאשר tick הוא התחלה של מדידה ו-tock הוא סיום של מדידה.

בנוסף יש משתנה זמן time\_left אותו עדכנתי (החסרתי ממנו את ההפרש בין tick ו- tock) אחרי כל איטרציית העמקה במינימקס ואלפא-בטא.

הגדרתי שאני ממשיך להעמיק כל עוד **כל\*** הקריטריונים הבאים מתקיימים:

* + ה-time\_left גדול (ממש) מ-0.1 מה-time\_limit ההתחלתי.

(משאיר מרחב בטיחות קטן שלא יווצר מצב שמצאתי צעד אבל לא הספקתי להחזיר אותו)

* + ה-time\_left גדול או שווה ל-4 (מקדם הסיעוף) כפול זמן הריצה שלקחה האיטרציה הקודמת.

כלומר, כל עוד הזמן הנותר גדול או שווה לחסם העליון של משך זמן ריצת איטרציית-החיפוש הבאה.

* + **קריטריון זה לא נועד לניהול הזמן אבל הוא חוסך חיפושים מיותרים:**

אם עומק החיפוש גדול-שווה למספר התאים הפנויים בלוח – זה אומר שאנחנו לקראת סוף המשחק וכל העלים בחיפוש הם מצבי יעד ואין טעם להריץ אותו שוב ושוב מאחר והוא יקבל כל פעם את אותה התוצאה.

* **זמן מוגבל גלובלי:**

בדומה לתשובה לשאלה 10 – הרעיון הראשון - חילקנו את משך המשחק לחלקים (phases): התחלת המשחק, אמצע המשחק, וסוף המשחק כך שבאמצע המשחק אנחנו מקדישים יותר זמן לכל מהלך מאשר בתחילת המשחק ובסופו.

בפועל, בתחילת המשחק הגדרתי משתנה מחלקה לשחקן בשם game\_time\_left ואז בכל תור בו אני אני צריך לבחור מהלך חישבתי את הזמן שאני מקצה לתור הנוכחי ושמתי ב-time\_left ואז השתמשתי בניהול הזמנים שהגדרתי כבר עבור "זמן מוגבל לתור" כאשר לפני החזרת הצעד הבא עדכנתי את ה-game\_time\_left על כל הזמן שחלף.

1. ג
2. ג