



הפקולטה למדעי המחשב

הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל

# מבוא לבינה מלאכותית

## 236501

סמסטר חורף 2019

מגישים:

idoeye	204397368	עידו יחזקאל
דואר אלקטרוני טכניון	מספר ת.ז.	שם מלא

ohadzo	305285694	אוהד זוהר
דואר אלקטרוני טכניון	מספר ת.ז.	שם מלא

## חלק א' – הכרות עם המשחק

### תרגיל 3 – Reflex Player

שחקן הבסיס מקבל את מצב המשחק הנוכחי וראשית מחשב את כל הפעולות האפשריות (החוקיות) עבורו בהינתן מצב המשחק. לאחר מכן, עבור כל פעולה אפשרית מפתח את המצב העוקב שהיא מייצרת ועבורו מחשב את הניקוד המשחק שיישיג אם יבצע מהלך זה, אוסף את הניקוד של כל המצבים האפשריים (עבור כל הפעולות האפשריות) ומוצא את הניקוד המקסימלי. לבסוף בוחר רנדומלית פעולה אשר תבטיח כי המצב שאליו יגיע השחקן יניב עבור את הניקוד המקסימלי שחושב. **כלומר, האלגוריתם שבו משתמש השחקן הינו Greedy Best First** היוריסטיקה בה משתמש מעריכה את מצב המשחק על פי ניקוד סוכן הפקמן.

## חלק ב' – בניית סוכן משופר

### תרגיל 1 – Better Evaluation Function

הפונקציה שהגדרנו הינה שילוב של הפרמטרים הבאים:

- הוספת ניקוד המצב.
- הוספת ממוצע הניקוד של המצבים העוקבים למצב.
- עבור כל רוח במרחק מנהטן לכל היותר 3 מפאקמן, אם היא מפוחדת לפחות ל 3 צעדים הבאים נוסיף את המרחק להערכת המצב אחרת נחסר.
- בניית מסלול הקצר ביותר לאסיפת כל האוכל הנותר בלוח המבוסס מרחקי מנהטן. וחסור אורך המסלול מערך המצב (ככל שיותר קטן יותר טוב).
- חיסור של מרחק מנהטן מהקפסולה הכי קרובה לפאקמן (ככל שיותר קטן יותר טוב).
- חיסור של 2 נקודות אם הפאקמן נמצא בין שני קירות מאוזנים.
- חיסור של 2 נקודות אם הפאקמן נמצא בין שני קירות מאונכים.

### תרגיל 2 – Motivation

נשים לב כי היוריסטיקה שלנו מעריכה את המצב ראשית לפי הניקוד הכללי במשחק שבו הפאקמן מקבל במצב זה בדיוק כמו היוריסטיקה המקורית. בנוסף היוריסטיקה שלנו מתחשבת ב**מיקום הרוחות** על הלוח ומעריכה את המצב לפיו. אם הרוח מפוחדת והיא קרובה לפאקמן, מרחק מנהטן 3, אזי נרצה להגדיל את הניקוד עבור מצב זה ונוסיף את המרחק מנהטן זה, אחרת היא קרובה לפאקמן אך לא מפוחדת ולכן מאיימת עליו ורצה לחסר את המרחק מנהטן ממנה. על מנת לצבור יותר נקודות הפונקציה מעריכה את המצב גם לפי המסלול לאסיפת כל הנקודות **האוכל על הלוח**, ככל שהמסלול קצר יותר כך הפונקציה תחסר פחות מהערך הסופי והוא יגדל. בנוסף אנו רוצים לתת לפאקמן יותר נתיבי מילוט מהרוחות ולכן נעדיף שלא ימצא בין שני קירות ולכן עבור מצבים כאלו נחסר 2 נקודות. המוטיבציה מאחורי היוריסטיקה היא מתן ניקוד גבוה יותר למצבים שרחוקים מרוחות וקרובים לאוכל ולרוחות מפוחדות וממקסמים את הניקוד הכללי.

## חלק ג' – בניית סוכן Min – Max

### תרגיל 1 – הנחה

בבניית עץ Min-Max אנו מניחים כי המשחק הינו משחק תורות והסוכנים האחרים, כלומר הרוחות, זזות כל אחת בתורה אמנם במשחק זה כל הסוכנים מבצעים מהלך ביחד ואין מדובר במשחק תורות ובפרט תזוזות הרוחות אינה משפיעה אחת על השנייה.

### תרגיל 3 – מימוש נוסף

במקום לממש שכבה עבור כל סוכן שמשתתף, כלומר עבור כל רוח, ניתן בשכבה אחת לייצג את כל הרוחות. בשכבה זו כל קשת אשר יוצאת מהמצב מגלמת פרמוטציה של מהלכים חוקיים עבור כל הרוחות. בשיטה זו יש לנו 2 סוכנים הפאקמן והרוחות אשר מיוצגות על ידי סוכן יחיד. לדוגמא בהינתן שיש 2 רוחות במשחק ולכל אחת יש 4 מהלים חוקיים לבצע, כלומר תזוזה לכל ארבעת הכיוונים נקבל 16 קשתות שיוצאת מהמצב של הרוחות, אשר כל קשת מסמלת את המהלך של כל רוח במשחק:

(east, east) ..... (north, south), (north, north)

יתרונות השיטה החדשה: בצורה זו נקבל עץ יותר שטוח כי כעת אנו דוחסים את שכבות הסוכנים היריבים אל שכבה אחת וכך בעומק יותר קטן נוכל לחשוף יותר מצבי משחק ספקולטיביים. חסרונות השיטה החדשה: מקדם הסיעוף בעץ עבור השיטה החדשה הוא אקספוננציאלי בכמות הסוכנים המשתתפים במשחק כלומר אם יש  $n$  רוחות במשחק מקדם הסיעוף יכול גם להגיע ל  $4^n$  דבר שלא יעיל לדוגמא עבור האלגוריתם Alpha - Beta אשר מספר הפיתוחים מושפע ממקדם הסיעוף.

## חלק ד' – בניית סוכן Alpha – Beta

### תרגיל 1 – מבנה העץ

מבנה העץ שהוגדר בתרגיל הוא בעל מקדם סיעוף שחסום על ידי 4, לכל אחד מהסוכנים יש במקרה הכי טוב מהלך לכל אחד מארבעת הכיוונים. ולכן בממוצע אלגוריתם אלפא – ביתא מבצע:

$$4^{\frac{3}{4}nD} \text{ פיתוחים.}$$

לעומת זאת, במבנה אחר לדוגמא כמו ההצעה בסעיף קודם יש לכאורה 2 סוכנים, הפאקמן ושאר

הרוחות לכן במקרה הממוצע יבצע  $4^{\frac{3}{4}2nD} = (4^n)^{\frac{3}{4}2D}$  כלומר יותר פיתוחים.

מסקנה: יש השפעה על מבנה העץ שהוגדר על כמות הפיתוחים שאלגוריתם Alpha - Beta מבצע ובנוסף מכיוון שהעץ שהוגדר בעל מקדם סיעוף קטן יותר נפתח פחות צמתים במקרה הממוצע, כלומר יהיה יותר גיזום וזמן הריצה יקטן. בנוסף נשים לב כי אין השפעה של מבנה העץ שהוגדר על הלוגיקה והדרך שבה האלגוריתם מבצע את הגיזום או בוחר מהלך לביצוע.

### תרגיל 3 – השוואה

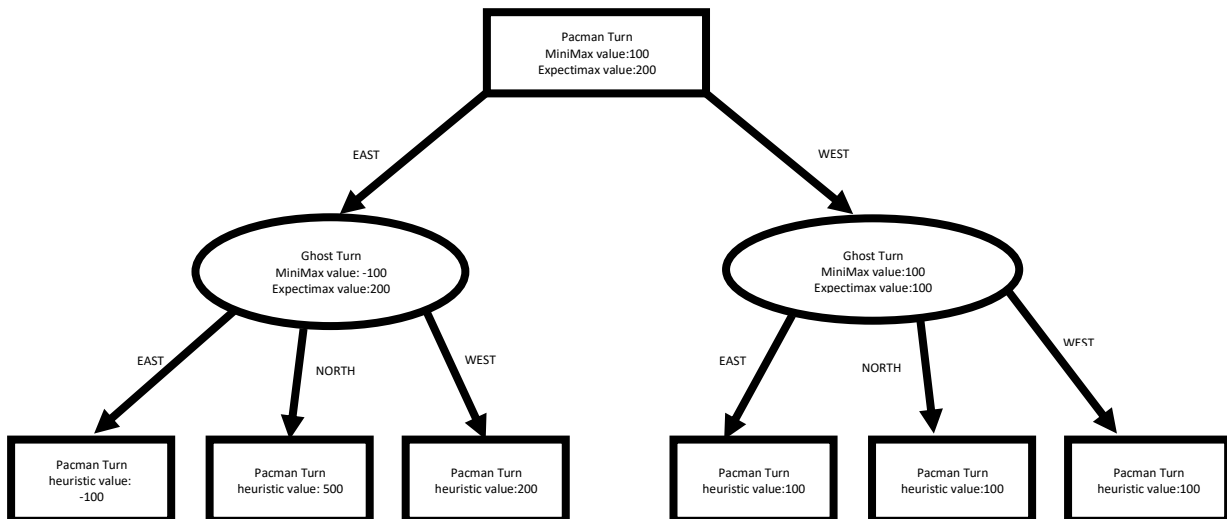
מבחינת זמן ריצה לסוכן Alpha - Beta ייקח פחות זמן לחשב את **המהלך הבא לביצוע** ולכן זמן הריצה שלנו יקטן (כאשר המשחק בין הסוכנים זהה לחלוטין). ניתן גם לראות זאת על ידי הגדלת העומק לחישוב ל-4 או על ידי הגדלת מספר הרוחות המשתתפות ולראות כי לסוכן זה לוקח פחות זמן לחשב את הצעד הבא לביצוע (המשחק פחות נתקע) ולכן זמן הריצה יקטן. מבחינת בחירת המהלכים האלגוריתמים הם זהים, זאת מכיוון שאלגוריתם ש Alpha - Beta גוזם רק ענפים שלא ישנו את ערך האסטרטגיה הסופי ולכן יוחזר אותו מהלך לביצוע בעל הערך הגדול ביותר.

# חלק ה' – בניית סוכן Expectimax לרוח רנדומלית

## תרגיל 2 – השוואה

קיימים כמה ההבדלים בין מימוש זה לבין המימושים הקודמים:  
**הבטחת חסם תחתון** על הערך היוריסטי של האסטרטגיה עבור העומק בו אנו מסתכלים, באלגוריתמים הקודמים מובטחת לנו **שכל** סדרת מהלכים של היריב מהמהלך שבו אנו מבצעים תוביל לערך יוריסטי שהוא לפחות כמו הערך שהושג בפיתוח העץ.  
כעת האלגוריתם מסתמך על ערך תוחלת פונקציית הסתברות ולכן חסם תחתון לא מובטח לנו, מכיוון שבתורו היריב יכול לבחור במהלך אשר מקטין את ערך האסטרטגיה שחושב בפיתוח הקודם. כלומר האלגוריתם פונה למהלכים אשר ערך התוחלת שלהם הוא הגבוהה ביותר ולכן לא מבטיח ערך אסטרטי.

דוגמא להמחשה: ישנה רוח אחת ולה 3 מהלכים חוקיים ולפקמן 2 מהלכים חוקיים ועומק העץ הינו 2. כפי שניתן לראות מהגרף ערך האסטרטגיה המובטח מאלגוריתם Minimax הינו 100 כאשר הפקמן מבצע את המהלך WEST ואכן אם יבצע צעד זהה יזכה בניקוד שהינו לפחות 100 בעוד 2 צעדים. לעומת זאת ערך האסטרטגיה על פי האלגוריתם Expectimax הינו 200 כאשר יבצע הפקמן את צעד EAST אבל אם ביצע צעד זה הרוח יכולה לפנות EAST ואז הערך האסטרטי הינו 100- כלומר האלגוריתם חזה 200 אמנם לאחר 2 מהלכים הערך הינו 100- באותה מידה גם הרוח יכולה לפנות NORTH ואז יקבל הפקמן 500.



הבדל נוסף שקיים הוא דרך קבלת ההחלטות, אלגוריתם זה נבנה עבור **רוח ספציפית**, הרוח הרנדומלית, הוא מחשב את המהלך הבא לביצוע בהסתמכות על אסטרטגיית המשחק של הרוח. לעומת זאת, האלגוריתמים הקודמים לא היו מודעים לרוח שמשחקת מולם. בנוסף נשים לב כי ביוריסטיקה המשופרת שלנו יש יותר משמעות למיקום הרוח ביחס לפקמן ולכן חשוב להתחשב באסטרטגיית המשחק שלה. לכן נוכל לצפות לתוצאות טובות עבור שימוש באלגוריתם זה כאשר אנו משחקים אל מול הרוח הרנדומלית.

## חלק ו' – בניית סוכן Expectimax לרוח לא רנדומלית

### תרגיל 1 – הבנת אסטרטגיית הרוח

בניית פונקציית ההתפלגות עבור המהלכים האפשריים לרוח נעשית באופן הבא:

- אוספים את כל המצבים החוקיים לביצוע.
- אם הרוח פוחדת (הפקמן יכול לאכול אותה) קובעים לה מהירות 0.5 ואחרת מהירות 1.
- מחשבים וקטורים מהמיקום הנוכחי של הרוח אל המיקומים החדשים האפשריים בהינתן המהירות.
- מוסיפים את הווקטורים על המיקום הנוכחי של הרוח.
- מחשבים מרחקי מנהטן מכל המיקומים האפשריים של הרוח אל הפקמן.
- אם הרוח פוחדת (הפקמן יכול לאכול אותה) בוחרים במרחק המקסימלי מהפקמן (הרוח רוצה להתרחק ממנו), אחרת בוחרים מהמרחק המינימלי מהפקמן (הרוח רוצה להתקרב אליו על מנת לאכול אותו).
- אוספים את כל המצבים אשר מקיימים את המרחק הטוב ביותר (רחוק או קרוב לפקמן בהתאם למצב הרוח), קובעים (זמנית) את הסתברות עבור המהלכים הכי טובים (בקוד זהו קבוע 0.8).
- לכל המצבים החוקיים האחרים קובעים הסתברות שהינה המשלים לאירוע הכי טוב.
- לבסוף מנרמלים את הערכים של כל המהלכים על מנת שתקיים תכונות פונקציה התפלגות.

דוגמא: בהינתן כי לרוח NORTH ו EAST מהלכים הכי טובים (להתקרב או להתרחק לפקמן) וסה"כ 4 מהלכים חוקיים נקבל:

$$best = \{EAST : 0.8, NORTH : 0.8\}$$

$$legal = \{EAST : 0.8 + 1 - 0.8, WEST : 1 - 0.8, NORTH : 0.8 + 1 - 0.8, SOUTH : 1 - 0.8\}$$

$$\Rightarrow legal = \{EAST : 1, WEST : 0.2, NORTH : 1, SOUTH : 0.2\}$$

$$\Rightarrow dist = \{EAST : 0.41667, WEST : 0.08333, NORTH : 0.41667, SOUTH : 0.08333\}$$

מסקנה: האסטרטגיה של הרוחות היא להעדיף את המהלכים הכי טובים לביצוע, כלומר בעת שהרוח מפוחדת להתרחק כמה שיותר מפקמן וכך להימנע מאכילה על ידי הפקמן וכאשר הרוח לא מפוחדת להתקרב כמה שיותר לפקמן על מנת לנסות לאכול אותו. ההעדפה מבוצעת על ידי מתן הסתברות גדולה הרבה יותר למצבים אלו. אמנם באסטרטגיה זו עדיין קיים סיכוי (נמוך ממש) לבצע מהלכים חוקיים אשר אינם משפרים את מצבה של הרוח.

### תרגיל 3 – השוואה למימוש הקודם

ההבדל בין המימושים הוא שבמימוש הקודם פונקציית ההסתברות הייתה אחידה על פני מספר המהלכים החוקיים שיש ליריב לביצוע והחישוב עבורה היה מידי (בדומה להטלת קוביות). בעת פונקציית ההסתברות של היריב תלויה באסטרטגיה שלו ובסוכן הפקמן ולכן יש צורך לבצע לוגיקה יותר מורכבת על מנת לקבל את פונקציית ההסתברות. בנוסף מכיוון שקוד סוכן הרוח חשוף עבורנו אנו יכולים לחשוף את הסוכן שלנו לאסטרטגיה זו אך אם לא היה חשוף היינו צריכים לנחש או ללמוד את האסטרטגיה שלו.

## תרגיל 4 – שיפור אסטרטגיית הרוח

1. כאשר ישנם מהלכים הכי טובים לביצוע, כלומר להתקרב או להתרחק מהפקמן בהתאם למצב הרוח ניתן הסתברות רק למצבים אלו ולא לכל המצבים חוקיים. באסטרטגיה זו הרוח ממש מנסה להתקרב או להתרחק מהפקמן בהתאם למצבה ולא מבצעת מצבים שיכולים להרוס לה.
2. האסטרטגיה של רוח בודדת כעת לא מודעת לשאר הרוחות המשחקות ולכן נרצה להוסיף את הידיעה הזאת כאשר לדוגמא כל רוח תנסה להתרחק משאר הרוחות ובצורה זו הרוחות ינסו לרדוף אחרי הפקמן במסלולים שונים ולכן ינסו לאכול את הפקמן או לברוח ממנו בכיוונים שונים וכך יהיה לו יותר קשה לברוח מהן או לתפוס אותן.

## חלק ז' – ניסוח השערות במשחק פקמן

### תרגיל 1 – ניסוח השערות ומבחן

$H_0 = \text{Alpha} - \text{Beta}$  agent and Minimax agent have NO statistically difference between the final scores

$H_1 = \text{Alpha} - \text{Beta}$  agent and Minimax agent have statistically difference between the final scores

\*when using same depth

נבנה את התצפית על ידי הרצה של שני האלגוריתמים על פני **מספר רב משחקים** עם לוחות שונים אבל עם אותו עומק, נאסוף את הניקוד שהושג בכל משחק.

נשתמש במבחן ה-T-Test על מנת לבחון האם לדחות או לקבל את השערת האפס. כאשר עבור המבחן נסמן:

$$T - \text{Value} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$\bar{X}_1$  = mean of Alpha – Beta samples of scores

$\sigma_1^2$  = variance of Alpha – Beta samples of scores

$n_1$  = number of Alpha – Beta samples of scores

$\bar{X}_2$  = mean of Minimax samples of scores

$\sigma_2^2$  = variance of Minimax samples of scores

$n_2$  = number of Minimax samples of scores

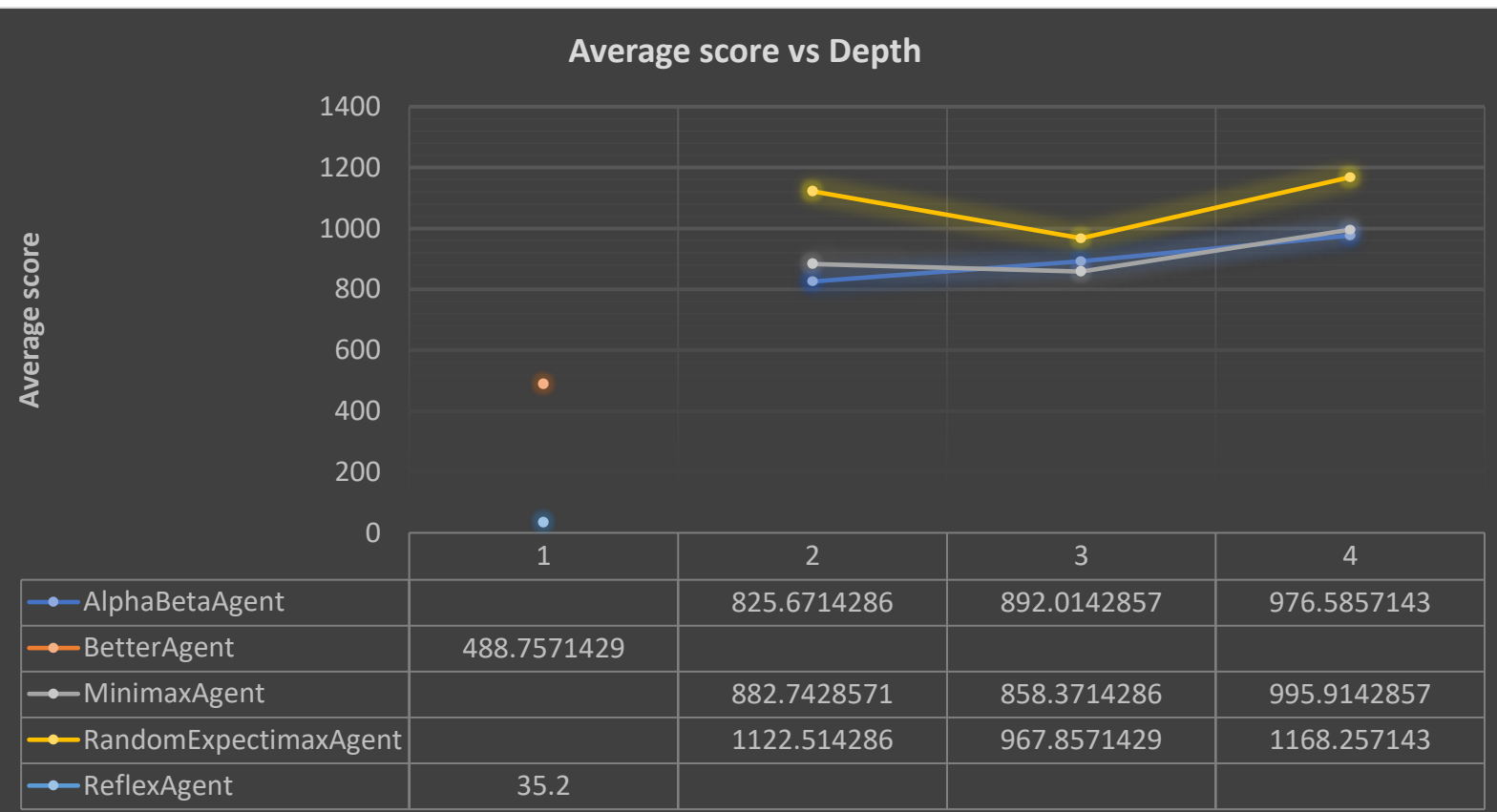
בעזרת ערך זה ניגש ל T-Test table עם דרגת חופש :  $n_1 - n_2 - 2$  ונבדוק האם לדחות את

השערת האפס או לא לפי ה-T-value שחושב.

(מהסתכלות באינטרנט זאת השיטה לדחות/ לקבל את השערת האפס במבחן T-Test).

## חלק ח' – ניסויים, תוצאות ומסקנות.

### תרגיל 2 – גרף ניקוד ממוצע בתלות בעומק החישוב

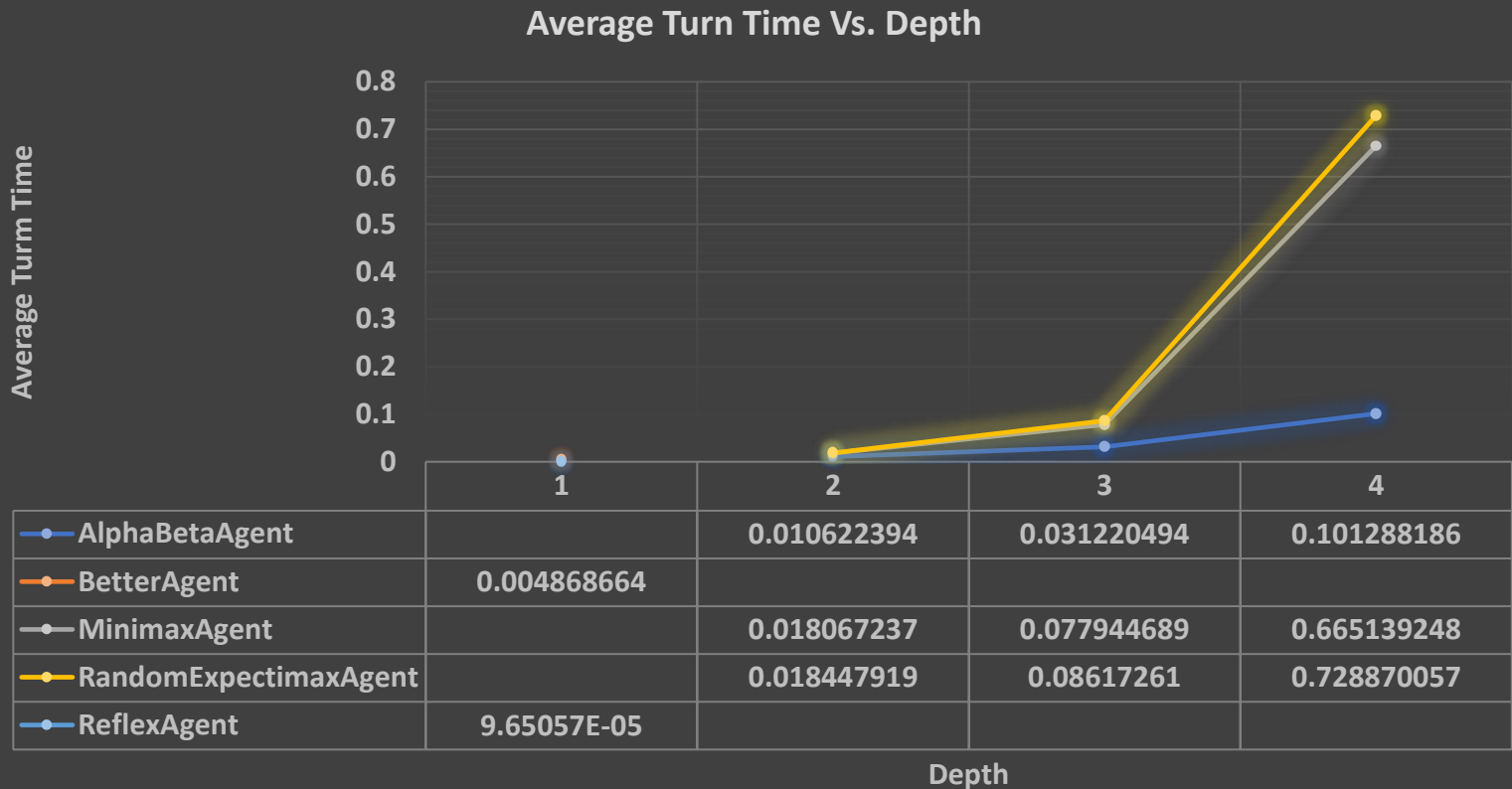


### תרגיל 3 – מסקנות מהגרף

ניתן להסיק מהגרף את המסקנות הבאות:

- היוריסטיקה החדשה שמימשנו טובה משמעותית מהיוריסטיקה הפשוטה שסופקה לנו, ניתן לראות זאת על ידי השוואת בין שני הסוכנים Better Agent ו Reflex Agent, כפי שצפינו.
- אין הבדל משמעותי בין ממוצע הנקודות משיג הסוכן Alpha Beta Agent לבין הסוכן Minimax, כפי שצפינו ההבדל ביניהם הוא רק בזמן ריצה, בזמן חישוב מהלך הבא לביצוע.
- ישנה מגמת עלייה בממוצע הניקוד שהסוכנים משיגים ככל שמחשבים יותר עמוק, צפינו זאת מכיוון שבחירת המהלך הבא לביצוע מושפע מיותר מהלכים קדימה ולכן בחירתו טובה יותר.
- אלגוריתם Random Expectimax משיג תוצאות טובות יותר משאר האלגוריתם, כפי שצפינו זאת מכיוון שאלגוריתם נבנה במפורש עבור הרוח הרנדומליות ומודע לאסטרטגיית המשחק שלה, בנוסף אלגוריתם זה פחות שמרני בבחירות המהלכים ולוקח יותר סיכונים ולכן יש לו יותר פוטנציאל להגיע לניקוד גבוה יותר דוגמא מפורשת לכך היא הלוח .trapped Classic.

## תרגיל 4 – גרף זמן חישוב התור בתלות בעומק החישוב



## תרגיל 5 – מסקנות מהגרף

ניתן להסיק מהגרף את המסקנות הבאות:

- זמן חישוב היוריסטיקה החדשה גבוה מזמן חישוב היוריסטיקה הפשוטה שסופקה לנו. כפי שצפינו המצאנו יוריסטיקה מסובכת ולכן זמן החישוב שלה גדול משמעותית מהיוריסטיקה הפשוטה שסופקה לנו, ניתן לראות זאת על ידי השוואת בין שני הסוכנים Reflex Agent ו BetterAgent.
- ככל שמגדלים את עומק עץ ה Minimax – זמן חישוב המהלך הבא לביצוע גדל אקספוננציאלי, כפי שצפינו זאת מכיוון שמספר העלים אשר מוערכים יוריסטית גדל אקספוננציאלי.
- אלגוריתם Random Expectimax ואלגוריתם Minimax בעלי אותו זמן חישוב תור, כפי שצפינו זאת מכיוון ששיניהם לא מבצעים גיזום וההבדל היחיד ביניהם הוא שהאחד מחשב תוחלת על הערכים והשני מחשב מקסימום ולכן בעלי זמן חישוב כמעט זהה.
- Alpha Beta Agent בעל זמן חישוב קטן משמעותית מאלגוריתם Minimax, כפי שצפינו בגלל הגיזום המתבצע נחסך הרבה זמן חישוב.
- ככל שהעומק גדל ההפרש בין זמן החישוב של Alpha Beta Agent לבין זמן החישוב של אלגוריתם Minimax גדל, כפי שצפינו בגלל שמספר הפיתוחים הממוצע תלוי בעומק העץ עליו מחשבים את האסטרטגיה.



## תרגיל 6 – Random Expectimax Vs. Directional Expectimax

Agent/Ghost	Directional Ghost [Average Score]	Random Ghost [Average Score]
Random Expectimax Agent	1263.8	2337.2
Directional Expectimax Agent	1114.8	2119.4

מסקנות (הסוכנים שיחקו נגד 2 רוחות):

שני האלגוריתמים השיגו תוצאות טובות יותר כאשר שיחקו מול הרוח הרנדומלית (ביחס לרוח המכוונת), כפי שציפינו מכיוון שרוח זו אינה מודעת לקיומו של הפקמן ואינה מנסה לרדוף אחריו ולכן לסוכן הפקמן סיכוי גדול יותר לנצח את המשחק (גם כאשר הוא חושב שהיא רודפת אחריו).

- אלגוריתם Random Expectimax שיחק טוב יותר מול הרוח הרנדומלית מאשר אלגוריתם Directional Expectimax, כפי שציפינו מכיוון שאלגוריתם זה נבנה בהסתמך על אסטרטגיית הרוח הרנדומלית לעומת האלגוריתם Directional Expectimax אשר אינה מודע לאסטרטגיית משחק שונה משלה.
- אלגוריתם Random Expectimax השיג יותר ניקוד מאשר אלגוריתם Directional Expectimax כאשר שיחק מול הרוח המכוונת בלוח המבוקש. תוצאה זו אינה תואמת את הציפיות שלנו כי ציפינו שסוכן זה ישיג פחות ניקוד ויפסל מהר יותר מאשר הסוכן המודע לאסטרטגיית הרוח המכוונת. תוצאה זו אינה חד משמעית כי ההבדל בין התוצאות קטן ולכן נצטרך לדגום יותר משחקים ואף עם יותר רוחות על מנת לברר תוצאה זו.

## תרגיל 7 – Minimax Classic Layout, depth is 4

אפיון הלוח: לוח זה מאוד קטן וצפוף ולכן ישנה חשיבות גדולה יותר להסתכלות לעומק עץ המצבים על מנת לחשב מהלך לביצוע שיכול להימנע מהפסד מיד. מכיוון שהפקמן יכול להפסיד תוך מספר קטן של מהלכים ולכן כאשר מסתכל עמוק יותר בעץ הפקמן יוכל לתכנן מסלול שהוא לא מפסיד בו החל מהמהלך הראשון. (ראינו כי אם לא מוצא כזה מעדיף להיפסל מאשר להפסיד עוד נקודות).

Agent/Ghost	Random Ghost [Average Score]
Reflux Agent	-205.15 (d=1)
Better Agent	225.86 (d=1)
Minimax Agent	513
Alpha-Beta Agent	363.857
Random Expectimax Agent	370.57

מהתוצאות בטבלה ניתן להסיק כי אלגוריתמים אשר מסתכלים לעומק העץ משיגים תוצאה טובה יותר בלוח זה.

נשים לב כי אלגוריתם Minimax לעומת Random Expectimax הניב תוצאה טובה יותר זאת מכיוון שהינו אלגוריתם שמרני שתמיד מניח את המקרה הגרוע ביותר כאשר הרוח משחקת. לעומתו אלגוריתם Random Expectimax פחות שמרני ונוטל יותר סיכונים ולכן בלוח קטן וצפוף שכזה מניב תוצאה פחותה מכיוון שהסיכונים בלוח זה גדולים לעומת הלוחות גדולים והפחות צפופים.

## תרגיל 8 – Trapped Classic Layout, depth is 4

אפיון הלוח: לוח זה מאוד קטן, צפוף וישנו מסלול יחיד עבור סוכן הפקמן לנצח את המשחק. בנוסף, מסלול יחיד זה תלוי בהתנהגות הרוח. רק במידה שהרוח שחוסמת את הפקמן "מפנה" את הדרך יש אפשרות לנצח את המשחק.

Agent/Ghost	Random Ghost [Average Score]
Reflux Agent	-501.57 (d=1)
Better Agent	-206.57 (d=1)
Minimax Agent	-501
Alpha-Beta Agent	-501
Random Expectimax Agent	-58.857

מהתוצאות בטבלה ניתן להסיק כי אלגוריתמים Minimax משיגים תוצאה פחות טובה יותר בלוח זה. מסקנה זאת נובעת מהעבודה שאלגוריתם Minimax קובע את ערך האסטרטגיה לפי המקרה הגרוע ביותר (שבו הרוח שועטת לכיוון פקמן) ואילו אלגוריתם Random Expectimax לוקח סיכונים ומנסה להשיג כמה שיותר נקודות. במפה זו, התנהגות קונסרבטיבית תוביל להחלטה של הפסד מידי מכוון ע"י פקמן, זאת כדי שפקמן יפסיד כמה שפחות נקודות. מצד שני, הימור על ניקוד גבוה יותר, עלול להביא להפסד עם תוצאה גרועה יותר אך רק בעזרתו ניתן לנצח את המשחק ולהשיג ניקוד גבוה יותר משמעותית. למען האמת, לעומק העץ כמעט אין משמעות בלוח זה.

## תרגיל 9 – ביצועים וניתוח תוצאות

כחלק מניתוח תוצאות המשחקים (קובץ csv) ביצענו השוואה בין ביצועי האלגוריתמים כתלות בעומק עץ החישוב וכתלות בלוח המשחק. השוואה זו הניבה לנו את היכולת לנתח כל סוכן ביחס לאחר, לנתח את התנהגות הסוכנים בתלות בלוח המשחק ובתלות בעומק בו השתמשו.

- השוואה בתלות בלוח המשחק:

כפי שראינו מסעיפים קודמים, ביצועי הסוכן תלויים בלוח המשחק מכיוון שהחלטות שמקבל תלויות בלוח. להלן פירוט של השחקן הטוב בעל התוצאה הטובה ביותר בכל לוח (עומק 4):

<i>Capsule Classic</i>	<i>Random Expectimax Agent (348.7142857)</i>
<i>Contest Classic</i>	<i>Random Expectimax Agent (2486)</i>
<i>Medium Classic</i>	<i>Alpha Beta Agent (1896.714286)</i>
<i>Open Classic</i>	<i>Better Agent (1262.142857)</i>
<i>Minimax Classic</i>	<i>Minimax Agent (513)</i>
<i>Small Classic</i>	<i>Random Expectimax Agent (1460.428571)</i>
<i>Tricky Classic</i>	<i>Alpha Beta Agent (1713.857143)</i>
<i>Trapped Classic</i>	<i>Random Expectimax Agent (-58.85714286)</i>
<i>Test Classic</i>	<i>Random Expectimax Agent (562)</i>
<i>original Classic</i>	<i>Minimax Agent (1937.714286)</i>

מטבלה זו אנו מסיקים כי בחצי מהלוחות הסוכן *Random Expectimax Agent* משיג את התוצאות הטובות ביותר ומניתוח מעמיק יותר שעשינו ראינו כי גם כאשר הוא לא משיג את הניקוד הגבוה ביותר הוא משיג תוצאה אשר קרובה לתוצאה הטובה ביותר. את התוצאה הזאת ניתן להסביר על ידי שסוכן זה מכיר את האסטרטגית הרוח שנגדה הוא משחק ולכן מקבל החלטות על סמך המהלכים של הרוחות בלוח ולא רק על פי מצב הפקמן וכך משיג יתרון ברוב הלוחות על פני שאר האלגוריתם.

בנוסף לא בכל הלוחות אנו מקבלים שיפור בביצועים כאשר אנו מגדילים את העומק לחישוב כך למשל: בלוח *Open Classic* דווקא הגדלת העומק אינה מטיבה עם הסוכנים המורכבים יותר ו *Better Agent* משיג ביצועים טובים יותר מכולם.

כפי צפינו, התנהגות הסוכנים *Alpha Beta Agent* ו *Minimax Agent* מאוד דומה ובכל הלוחות הביצועים שלהם קרובים למדי.

נציין כי בלוח המשחק *Trapped Classic* רק הסוכנים *Random Expectimax Agent* ו *Better Agent* לא גרמו לפאקמן להיפסל ישר וזאת מכיוון ש *Better Agent* לא מודע לפסילה עתידית אפשרית ולכן מעדיף לא להיפסל, לעומתו *Random Expectimax Agent* יכול להבחין בכך שהרוח לא בהכרח תחסום את הפאקמן ולכן מעדיף לקחת את הסיכון על מנת לנצח. בלוח *Open Classic* סבלו הסוכנים *Random Expectimax Agent* ו *Minimax Agent* בזמן חישוב גבוהה במיוחד זאת מכיוון שזהו לוח פתוח (ללא קירות) מספר המהלכים האפשריים כמעט בכל מצב משחק הינו 4.

## • השוואה בין הסוכנים:

נתחיל מהשוואה הפשוטה יותר, בין הסוכנים *Better Agent* ו-*Reflex Agent* בכל הלוחות (פרט ללוח *original Classic*) השיג הסוכן *Better Agent* ביצועים טובים משמעותית מהסוכן הפשוט ולכן ניתן לקבוע כי היוריסטיקה שהמצאנו גוברת על היוריסטיקה הפשוטה. (גם בלוח שהפסידה, התוצאה אינה חד משמעית וסביר להניח כי מדגם של יותר משחקים היה מניב תוצאה שונה).

כאשר אנו משווים בין ביצועי הסוכנים *Alpha Beta Agent* ו-*Minimax Agent* אנו מגלים כי משיגים ביצועים דומים וניקוד יחסית קרוב אחד לשני אמנם הסוכן *Alpha Beta Agent* משיג את הניקוד בזמן ריצה קטן יותר בגלל פעולות הגיזום שמבצע ולכן המסקנה המתבקשת שסוכן זה עדיף על *Minimax Agent* כי בעל ביצועים זהים אבל מחשב מהר יותר. בנוסף כאשר אנו מגדילים את עומק החיפוש היתרון של סוכנים אלו על פני *Better Agent* בא לידי ביטוי משמעותית יותר. אמנם מכיוון שסוכנים אלו מקבלים החלטות לפי המקרה הגרוע ביותר בלוחות הקטנים יותר הדבר פוגע בהם ודווקא *Better Agent* משיג תוצאות טובות יותר מהם ללא תלות בעומק החיפוש.

נשווה בין *Random Expectimax* אל מול *Better Agent*, מניתוח התוצאות ניתן להסיק כי הסוכן *Random Expectimax* הרבה יותר טוב מ-*Better Agent* ומצליח להשיג תוצאות טובות הרבה יותר ברוב לוחות המשחק.

השוואה המעניינת הינה בין *Random Expectimax* לבין הסוכנים *Alpha Beta Agent* ו-*Minimax Agent*, מניתוח התוצאות שקיבלנו עולה כי קיימים לוחות משחק אשר הסוכנים *Alpha Beta Agent* ו-*Minimax Agent* משיגים תוצאות טובות יותר אמנם לא בפער אשר ניתן לקבוע כי הם טובים יותר אמנם בלוחות אשר הסוכן *Random Expectimax* משיג ביצועים טובים יותר, הם מתעלים בהרבה משאר הסוכנים וזאת כנראה כתוצאה מכך שאסטרטגיית הרוח ידועה עבורו.

## • מגמת שיפור כתלות בעומק החיפוש:

מגמת השיפור כתלות בהגדלת עומק החיפוש הייתה מעורבת על פני הלוחות השונים אבל פחות או יותר אחידה על פני הסוכנים השונים. כלומר לא בכל לוחות המשחק ראינו שיפור בביצועים מעומק 2 לעומק 4 אמנם ברוב לוחות המשחק, עומק 3 היה טוב יותר מעומק 2 ובלוח אשר השיג ביצועים פחות טובים מ-4 ההבדל לא היה משמעותי. לכן אם נסתכל על ה-trade off בין ביצועי הסוכן לבין זמן חישוב נעדיף שהסוכן שלנו ישתמש בעומק 3 על מנת למנוע את מזמן הריצה לגדול אקספוננציאלי כפי שראינו בגרף בסעיף קודם (קביעה זו היא על סמך התוצאות, יתכן כי מספר רב של דגימות דווקא יראה כי עומק כי כדאי לחשב בעומק 4 ולספוג את זמן החישוב). בנוסף עבור לוח אשר העלאת עומק החיפוש אינה שיפרה ביצועים התוצאה הייתה אחידה בכל הסוכנים ואף אחד מהסוכנים לא שיפר את ביצועיו באופן משמעותי. אם במקום מגבלת עומק נקבע מגבלת זמן נצפה כי *Alpha Beta Agent* יגיע לעומק גדול יותר בעץ והסוכנים *Random Expectimax Agent* ו-*Minimax Agent* יגיע לעומק יחסית זהה. לדעתנו הגבלת זמן (אשר מאפשרת העמקה ליותר מעומק 4) לאו דווקא תשפר את ביצועי הסוכנים כי כמו שראינו כאן העמקה בעת החיפוש אינה מטיבה עם כל לוחות המשחק.



4. ביצועי Minimax Agent ממיינים לפי ביצועים ולוח משחק:

Agent	depth	board	score	turn time
MinimaxAgent	3	capsuleClassic	343.7142857	0.104716327
MinimaxAgent	2	capsuleClassic	333.4285714	0.017732844
MinimaxAgent	4	capsuleClassic	127.1428571	0.972487178
MinimaxAgent	4	contestClassic	1894.285714	1.010794604
MinimaxAgent	3	contestClassic	1771.714286	0.10667743
MinimaxAgent	2	contestClassic	1609.714286	0.01837064
MinimaxAgent	3	mediumClassic	1982	0.111226067
MinimaxAgent	2	mediumClassic	1633.142857	0.019125013
MinimaxAgent	4	mediumClassic	1486	1.06396166
MinimaxAgent	4	minimaxClassic	513	0.615299021
MinimaxAgent	3	minimaxClassic	511.2857143	0.074340291
MinimaxAgent	2	minimaxClassic	366	0.017764051
MinimaxAgent	2	openClassic	1297.285714	0.019621942
MinimaxAgent	3	openClassic	1209.857143	0.11445237
MinimaxAgent	4	openClassic	1190.714286	1.114993034
MinimaxAgent	4	originalClassic	1937.714286	0.208793213
MinimaxAgent	2	originalClassic	1352.571429	0.017501519
MinimaxAgent	3	originalClassic	824.1428571	0.03957637
MinimaxAgent	4	smallClassic	1291	0.61755122
MinimaxAgent	3	smallClassic	769.5714286	0.074592574
MinimaxAgent	2	smallClassic	276.7142857	0.017834126
MinimaxAgent	3	testClassic	548	0.03946759
MinimaxAgent	2	testClassic	544.5714286	0.017160372
MinimaxAgent	4	testClassic	538.8571429	0.209728664
MinimaxAgent	4	trappedClassic	-501	0.209570893
MinimaxAgent	3	trappedClassic	-501	0.039446979
MinimaxAgent	2	trappedClassic	-501	0.017147554
MinimaxAgent	2	trickyClassic	1915	0.018414311
MinimaxAgent	4	trickyClassic	1481.428571	0.628212991
MinimaxAgent	3	trickyClassic	1124.428571	0.074950888

5. ביצועי Alpha Beta Agent ממיינים לפי ביצועים ולוח משחק:

Agent	depth	board	score	turn time
AlphaBetaAgent	3	capsuleClassic	334	0.033342816
AlphaBetaAgent	2	capsuleClassic	169.1428571	0.009952957
AlphaBetaAgent	4	capsuleClassic	73.14285714	0.119412617
AlphaBetaAgent	4	contestClassic	1753.857143	0.123572522
AlphaBetaAgent	3	contestClassic	1549.142857	0.034458028
AlphaBetaAgent	2	contestClassic	1187	0.010186815
AlphaBetaAgent	4	mediumClassic	1896.714286	0.129357918
AlphaBetaAgent	3	mediumClassic	1767.857143	0.035471526
AlphaBetaAgent	2	mediumClassic	1695.428571	0.010339207
AlphaBetaAgent	4	minimaxClassic	363.8571429	0.099367016
AlphaBetaAgent	2	minimaxClassic	220.1428571	0.010247829
AlphaBetaAgent	3	minimaxClassic	218.5714286	0.03074607
AlphaBetaAgent	2	openClassic	1301.857143	0.010740892
AlphaBetaAgent	4	openClassic	1218.428571	0.134936902
AlphaBetaAgent	3	openClassic	1203.857143	0.036611765
AlphaBetaAgent	4	originalClassic	1671.714286	0.068733259
AlphaBetaAgent	2	originalClassic	1655.857143	0.01140392
AlphaBetaAgent	3	originalClassic	1491	0.026645105
AlphaBetaAgent	4	smallClassic	1035	0.099898074
AlphaBetaAgent	3	smallClassic	812.8571429	0.030899237
AlphaBetaAgent	2	smallClassic	541.7142857	0.010287245
AlphaBetaAgent	3	testClassic	549.7142857	0.026316413
AlphaBetaAgent	4	testClassic	540.2857143	0.067963304
AlphaBetaAgent	2	testClassic	536	0.011162752
AlphaBetaAgent	4	trappedClassic	-501	0.067916231
AlphaBetaAgent	3	trappedClassic	-501	0.026298771
AlphaBetaAgent	2	trappedClassic	-501	0.011155438
AlphaBetaAgent	4	trickyClassic	1713.857143	0.101724013
AlphaBetaAgent	3	trickyClassic	1494.142857	0.031415211
AlphaBetaAgent	2	trickyClassic	1450.571429	0.010746889



6. ביצועי *Random Expectimax Agent* ממיינים לפי ביצועים ולוח משחק:

Agent	depth	board	score	turn time
RandomExpectin	3	capsuleClassic	1114.571429	0.117152186
RandomExpectin	4	capsuleClassic	348.7142857	0.986053071
RandomExpectin	2	capsuleClassic	139.8571429	0.017405692
RandomExpectin	4	contestClassic	2486	1.020240097
RandomExpectin	3	contestClassic	1929.714286	0.121406453
RandomExpectin	2	contestClassic	1763.428571	0.018027638
RandomExpectin	4	mediumClassic	1842.428571	1.110967975
RandomExpectin	2	mediumClassic	1754.285714	0.018984186
RandomExpectin	3	mediumClassic	1531.571429	0.128672454
RandomExpectin	2	minimaxClassic	511.8571429	0.018064099
RandomExpectin	3	minimaxClassic	371.8571429	0.075258776
RandomExpectin	4	minimaxClassic	369.5714286	0.69546136
RandomExpectin	4	openClassic	1214.428571	1.169604795
RandomExpectin	2	openClassic	1208.142857	0.019896206
RandomExpectin	3	openClassic	1092.142857	0.13207284
RandomExpectin	4	originalClassic	1839.428571	0.298106864
RandomExpectin	3	originalClassic	1496.714286	0.045532865
RandomExpectin	2	originalClassic	1192.714286	0.018706762
RandomExpectin	4	smallClassic	1460.428571	0.697617237
RandomExpectin	3	smallClassic	1227.142857	0.075368608
RandomExpectin	2	smallClassic	1188.285714	0.018127065
RandomExpectin	4	testClassic	562	0.29678706
RandomExpectin	3	testClassic	544.2857143	0.045371775
RandomExpectin	2	testClassic	534.8571429	0.018322485
RandomExpectin	3	trappedClassic	236.5714286	0.045224105
RandomExpectin	2	trappedClassic	236.5714286	0.01825063
RandomExpectin	4	trappedClassic	-58.85714286	0.295650499
RandomExpectin	3	trickyClassic	1680.571429	0.075666035
RandomExpectin	4	trickyClassic	1618.428571	0.718211615
RandomExpectin	2	trickyClassic	1485.857143	0.018694424

## חלק ט' – סוכן התחרות

חלק זה מסביר את הלוגיקה של סוכן התחרות. נחלק את הסבר שלושה חלקים: ידע מוקדם של הסוכן, האלגוריתם לבחירת צעד, והיוריסטיקה בה השתמשנו.

**ידע מוקדם:** בחישוב המהלך הראשון הסוכן מבצע עיבוד מקדים על הלוח בו מבוצע המשחק. הסוכן מכין בסיס נתונים על מרחקי הקואורדינטות הרלוונטיות אחת מהשנייה בלוח המשחק. מימשנו זאת על ידי בניית גרף מהלוח, והרצת BFS מכל נקודה לכל נקודה. לבסוף שמרנו מילון רק עבור כל זוג נקודות אשר קיים מסלול ביניהם (על מנת לחסוך בזיכרון). בנוסף לכל הסוכן שומר את כמות הקפסולות שיש על הלוח. עבור לוחות מוכרים לנו (אלה שסופקו עם התרגיל) הערכנו את השפעת הרוח על הפקמן (עבור לוחות חדשים סוכן מניח ערך ברירת מחדל), לדוגמא בלוח open Classic אשר לא מכיל קירות הרוח לא משפיעה על הפקמן וכל עוד הוא במרחק 1 ממנה קיים עבורו מסלול בריחה, לכל השפעת הרוח הינה 1. על מנת לעמוד במגבלת הזמן של 30 שניות, לכל לוח הגדרנו עומק לפיתוח עץ המהלכים כאשר עבור לוחות קטנים הגדרנו עומק 4 (ערך ברירת מחדל עבור לוחות לא מוכרים), עבור לוחות גדולים עומק 3.

**אלגוריתם לבחירה:** ראשית במהלך הראשון (בלבד) האלגוריתם מזהה את לוח המשחק ומתאים לו פונקציית מרחק מתאימה (במידה ולא מצא לוח שמכיר כבר יוגדר לוח כללי עם פונקציית מרחק מרחקי מנהטן), וכמה סוכנים משחקים.

הלוגיקה בה בחרנו להשתמש על מנת למצוא את המהלך לביצוע הינה Alpha - Beta זאת מכיוון שסוכן התחרות אינו מודע לאסטרטגיית הרוח שנגדה משחק ולכן נעדיף אלגוריתם שאינו מסתמך על כך. עבור אלגוריתם זה מוגדר עומק לפיתוח לפי הלוח הנוכחי של המשחק. בנוסף רצינו להעדיף המשכיות בכיוון הפקמן, לכן האלגוריתם מודע לכיוון הפאקמן ויבדוק מהלך בכיוון זה ראשון. אמנם כאשר ה - Alpha - Beta מחליט להפסיק כרגע מאשר להמשיך ולהפסיד עוד נקודות, אנו מגרילים מהלך מבין החוקיים פרט למהלך שבחר, כך אנו מאפשרים תוכנית ב' לסוכן (לדוגמא בלוח trapped Classic הסוכן לא יתאבד ישר כמו שראינו בנייתוח הקודם אלא ייקח סיכון וינסה לאכול את האוכל, הוא יצליח אם הרוח לא תתקדם לעברו).

**יוריסטיקה:** מימשנו יוריסטיקה דומה ליוריסטיקה שכבר מימשנו אמנם עם שיפורים הבאים: פונקציית המרחק שהיוריסטיקה משתמשת בה מועברת על ידי הסוכן ולכן משתנה בין הלוחות בהתאם, מתחשבת בכמה קפסולות ישנן בלוח המשחק ובנוסף היוריסטיקה מקבלת מהסוכן מהי השפעת הרוח על הפקמן בהתאם ללוח המשחק הנוכחי.

היוריסטיקה מעריכה את המצב לפי הניקוד (score) שלו ובעזרת נתונים שהוזכרו מחשבת את מרחקי הרוחות מהפקמן וגורמת לפאקמן להתקרב כאשר הרוח מפוחדת מספיק ומוסיפה ניקוד לפקמן כאשר לא מושפע מהרוח (לפי הגורם שהועבר).

על כל קפסולה שהפקמן אוכל מתווסף לו ניקוד, כי הוא לא מקבל ניקוד כללי על כך.

הערכנו את גורם האוכל בצורה הבאה 
$$\sum_{food \in foods} \frac{dist(pacman, food)}{|foods|}$$
 כלומר המונה הוא סכום

כל המרחקים של האוכל מהפקמן והמכנה הוא כמות האוכל בלוח בהתאם למצב משחק. היוריסטיקה מוסיפה ניקוד למצבים אשר מקטינים גורם זה.