# חלק א': חלק יבש (40 נקודות)

## שאלות כלליות על המשחק

נגדיר מצב במשחק ע"י מטריצה .  
הערך 0 מסמל משבצת ריקה.  
הערך 1- מסמל משבצת אפורה.  
הערך 1 מסמל את מיקומו הנוכחי של השחקן שלכם.  
הערך 2 מסמל את מיקומו הנוכחי של השחקן היריב.

1. **הגדרה פורמלית לפונקציית העוקב .**
2. **הגדרה פורמלית תנאים הכרחיים ומספיקים על מצב , עבור המשחקים:  
   1) s הוא מצב ניצחון עבור שחקן i.**נסמן את השחקן היריב לשחקן i כ , כאשר .

**2) s הוא מצב תיקו.**

נסמן את השחקן היריב לשחקן i כ , כאשר .

1. **מהו מקדם הסיעוף במשחק?**

מקדם הסיעוף הוא 4.  
מספר המצבים העוקבים למצב מסויים הוא לכל היותר 4, צעד אחד לכל כיוון במידה והצעד אפשרי.

## שאלות על SimplePlayer

1. **מהי האסטרטגיה של השחקן? מנו מספר יתרונות של אסטרטגיה זו.**השחקן מגדיר כצעד הטוב ביותר את הצעד ממנו יש לו מספר מינימלי של צעדים אפשריים בעתיד (שהוא שונה מ 0).  
     
   יתרונות של אסטרטגיה זו:  
   נסמן את מספר אפשרויות התנועה ממשבצת x במהלך ה במשחק, .  
   טענה: עבור משבצת x מסוימת, עבור , .  
     
   השחקן בוחר במהלך ה i לזוז למשבצות בהן הוא מינימלי מבין כל המשבצות הנמצאות במרחב התנועה שלו.  
   ע"פ הטענה, ככל ש של משבצת קטן יותר, הגישה אליה עלולה להיחסם בשלב מוקדם יותר של המשחק. השחקן מתעדף תזוזה למשבצת שה שלה מינימלי, כיון שהסיכוי שלא יוכל להגיע אליה בעתיד גדול לעומת משבצות עם גדול משלה.   
   בצורה כזו השחקן מגדיל את סיכויו שלא להיתקע, מאחר והוא משאיר לעצמו את המשבצות בעלות מרחב התנועה הגדול יותר, שיחסמו רק בשלבים מאוחרים יותר, לשלבים מתקדמים יותר של המשחק.

בנוסף, משבצות כאלו הן גם בעלות סיכוי יחסית גבוה שיהיה ניתן להמשיך מהם בעתיד.  
גם זה מגדיל את סיכויו של השחקן שלא להיתקע.

יתרון נוסף הוא מהירות החישוב של הצעד הבא בשל פשטות היוריסטיקה (מסתכלת תמיד על עומק 1).

1. **הציגו לוח שבו השחקן יפעל בהכרח בצורה אופטימלית, והסבירו.**

נתבונן על הלוח הבא, מיוצג ע"י הספרה 1:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2 | -1 | -1 |
| 0 | 1 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |

המשבצות אליהן יכול השחקן לזוז הן המשבצות במיקומים (2, 1), (1, 2).  
מספר אפשרויות התנועה מ (1, 2) הוא 2, ואילו מספר אפשרויות התנועה מ (2, 1) הוא 1.  
  
המשבצת אליה יבחר השחקן לזוז ע"פ האסטרטגיה היא המשבצת (2, 1) המסומנת בצהוב.

באופן כזה השחקן ינצח בוודאות אחרי מהלך אחד (כיון שהשחקן השני יחסם לתנועה),  
לעומת בחירה במשבצת השנייה שתוביל למצב של תיקו.

ניתן לראות בקלות כי צעד כזה הוא צעד אופטימלי.

## שאלות על הגדרת היוריסטיקה

1. **נסתכל על היוריסטיקה הבאה עבור שחקן :  
    כאשר הוא מספר הסוכן עבורו מחושב ערך היוריסטיקה. כלומר הערך היוריסטי של מצב הוא מספר המשבצות הלבנות השכנות למקומו של הסוכן.  
   מה החיסרון ביוריסטיקה זו?**

ע"פ יוריסטיקה זו, נתעדף מצב בו זזנו למשבצת עם מרחב תנועה גדול ככל הניתן.  
זוהי אסטרטגיה הפוכה בדיוק מהאסטרטגיה שהוצגה עבור השחקן .

נשתמש בטענה מהשאלה הקודמת,   
עבור משבצת x מסוימת, עבור ,   
(כאשר הוא מספר אפשרויות התנועה ממשבצת x במהלך ה במשחק).  
  
החיסרון ביוריסטיקה זו,  
היא שבאופן כזה אנחנו עלולים ליצור שטחים מתים שלא ניתן להגיע\להמשיך מהם.  
  
ע"פ הטענה מצבים בהם מספר המשבצות הלבנות השכנות למקומו של הסוכן קטן, עלולים להיות בלתי נגישים בשלב יחסית מוקדם. ע"פ היוריסטיקה, מצבים כאלו יבחרו בשלבים המאוחרים של המשחק. ייתכן שבשלבים הללו המשבצת של מיקום הסוכן כבר תהיה חסומה וכך איבדנו משבצות אפשריות לתנועה והקטנו את מספר המהלכים שביכולתנו לבצע.

1. **הגדירו יוריסטיקה המורכבת לפחות משלושה מרכיבים שונים (אותו מרכיב ביחס ליריב אינו נחשב למרכיב נוסף). נמקו מדוע בחרתם במרכיבים אלו.**

נסמן ב את מספר הסוכן עבורו מחושב ערך היוריסטיקה, וב j את היריב.  
נגדיר יוריסטיקה התלויה במרכיבים הבאים:

1. מספר המשבצות הלבנות השכנות למקומו של הסוכן, נסמן
2. הפרש מספר המשבצות הלבנות הישיגות בכל הלוח מהסוכן ומספר המשבצות הלבנות הישיגות בכל הלוח ליריבו, נסמן
3. מספר המשבצות האפורות בלוח, נסמן

נגדיר פונקציית עזר :

נגדיר את פונקציית היוריסטיקה באופן הבא:

נימוק:  
מספר המשבצות הלבנות השכנות למקומו של הסוכן, המרכיב , משקף את מרחב התנועה מהמצב s. בשלבים מוקדמים של המשחק נרצה לכסות מצבים שמרחב התנועה שלהם אינו גדול, כיון שיתכן שבעתיד הם יחסמו לחלוטין. כך ננסה להגדיל את מספר המהלכים שנוכל לעשות בעתיד.

בשלבים מאוחרים יותר, בהם רוב הלוח אפור, אסטרטגיה זו מסוכנת כיון שהיא עלולה לגרום לנו להיתקע, ולכן נרצה לעבור למצבים בהם חופש התנועה הוא הגדול ביותר על מנת להגדיל את הסיכוי שניתן יהיה להמשיך משם.

על מנת להבחין בין שלבים מאוחרים של המשחק לשלבים מוקדמים, נשתמש במרכיב .

דבר נוסף, נרצה לנסות לגרוע מאפשרויות התנועה המיידיות\העתידיות של היריב כדי שהוא יחסם כמה שיותר מהר, אך לא באופן שיגרום לנו לחסום את עצמנו. לשם כך נשתמש במרכיב המבטא את הפרש מספר המשבצות הישיגות ליריב ממספר המשבצות הישיגות לנו.

## שאלות על בוריאציית

1. **הסבירו מהי וריאציית Anytime Contract של אלגוריתם Minimax, מהי העמקה הדרגתית בהקשר זה, ומה הבעיה הנוגעת להעמקה הדרגתית המוצגת בהרצאה.**
2. **הסבירו את הפתרון המוצע בהרצאה לבעיה זו.**
3. **נרצה לחסום מלמעלה את זמן הריצה של ה לעומק : , הוא מספר העלים בעץ המינימקס שפותח, ו s הוא המצב הנוכחי.**

**הגדירו את הפונקציה כך שזמן הריצה לא יחרוג מהזמן המוקצב, כלומר מצאו חסם עליון לזמן הריצה של האיטרציה הבאה כפונקציה של מספר העלים שפותחו בקריאה הקודמת ל , ושל זמן הריצה של האיטרציה הקודמת.  
על החסם להיות הדוק ככל הניתן. הסבירו.**

נדון בעץ מלא.

בהינתן מקדם סיעוף , בכל רמה יש פי עלים יותר מהרמה מעליה.

מספר הצמתים המפותחים בעץ בגובה הוא .

סה"כ , סכום סדרה הנדסית כאשר .

לסיכום, חסם לזמן שתיקח האיטרציה הבאה הוא:

מקדם הסיעוף במרחב החיפוש שלנו הוא לכל היותר 4 בצעד הראשון, ולאחר מכן לכל היותר 3.

כלומר, סכום הסדרה של מספר הצמתים שפותחו .

מספר העלים בעץ בעומק הוא , ולכן היחס בין מספר העלים לבין כל יתר הצמתים בעץ הוא .

בהינתן שמספר העלים באיטרציה הקודמת הוא ,

נשתמש ביחס זה על מנת להעריך כמה זמן מהאיטרציה הקודמת נדרש לצורך פיתוח L צמתים.

מאחר והעלים בעץ מלא מהווים מכלל הצמתים בעץ,

נעריך את הזמן שנדרש לפיתוחם כ .

מספר העלים באיטרציה הבאה הוא , וסה"כ החסם לזמן שתיקח האיטרציה הבאה הוא:

נשים לב שהעץ שפותח אינו בהכרח מלא, ולכן הוא לא מדד לעומק העץ שפותח באיטרציה הקודמת.

הסיבה שעץ מלא הוא חסם היא שבעץ מלא אנחנו מפתחים מספר מקסימאלי של צמתים ברמה האחרונה.  
בכך שהשתמשנו ביחס של , חסמנו את זמן הפיתוח של הרמה האחרונה בעץ כי החמרנו עם מספר הצמתים שמפותחים בה. אם העץ לא מלא, היחס קטן יותר ובהכרח קטן מ .

נגדיר את הפונקציה באופן הבא:

## השוואה בין סוכן ה לסוכן ה

1. **מי מבין הסוכנים צפוי להיות יותר טוב בוריאציית ?**
2. **האם התשובה הייתה זהה, אם במקום מגבלת זמן, ההגבלה הייתה על עומק החיפוש?**

תלוי.  
כתוצאה מפעולת הגיזום, אלגוריתם יכול באופן פוטנציאלי לפתח עלים בעומק עמוק יותר מאשר העלים שיפותחו באלגוריתם , כיון שהוא יכול לחסוך בפיתוח של צמתים לא רלוונטיים ומנצל את הזמן לפיתוח ברמות עמוקות יותר (במקרה הטוב העץ הגזום מפתח את אותו מספר עלים כמו ב אך בעומק כפול).

כאשר המגבלה היא על זמן החיפוש, אלגוריתם יכול לקבל יתרון על מאחר ובמידה והוא הצליח לחסוך בפיתוחים הוא יצליח לדייק יותר בבחירת הצעד הבא שלו כיון שהוא יספיק לראות לעומק עמוק יותר.

במצב בו המגבלה היא על עומק החיפוש, יוכל להשיג יתרון על אלגוריתם בתנאי שמגבלת העומק תהיה גדולה מהעומק המקסימאלי אליו יגיע באותה איטרציה (עדיין קיימת תלות בטיב סידור הבנים). אחרת, איכות הפתרון שלו זהה לשל (אך עדיין הוא יכול להיות טוב יותר מבחינת הזמן שידרש לו לחישוב הצעד).

# חלק ב': מימוש סוכן (15 נקודות)

# חלק ג': מימוש סוכן (15 נקודות)

# חלק ד': מימוש סוכן עם סידור ילדים (10 נקודות)

# חלק ה': תחרות

# חלק ו': כתיבת דו"ח (6 נקודות)

1. תארו את היוריסטיקה שקבעתם עבור שחקן ה , והסבירו.
2. הסבירו את פעילותו של שחקן התחרות שלכם. אם הגדרתם היוריסטית חדשה, הסבירו עליה.
3. תארו כיצד ניהלתם את זמן ריצת הפונקציה make\_move.

# חלק ז': ביצוע ניסויים (14 נקודות)

## השוואות עומק החיפוש בין הסוכנים השונים

1. הריצו משחקים בין סוכן ה לסוכן ה שמימשתם על כל לוחות הנתונים. מה התוצאות שקיבלתם? האם התוצאות מתאימות לציפיותכם?

## השוואה בין היורסטיקה פשוטה למסובכת

1. בניסוי זה נבחן את כיצד זמן הריצה הנתון משפיע על עומק חיפוש של הסוכנים השונים. לכל סוכן מבין הסוכנים , , , צרו גרף בו ציר ה x הוא הזמן הנתון עבור הרצת הפונקציה make\_move, וציר ה y הוא העומק המסקימאלי שאליו הגיע הסוכן. יש להריץ את הניסוי על הלוח ai\_board שיש לייבא ממהקובץ MapsGenerator.

הסבירו את הגרפים, ואת ההבדלים ביניהם אם יש כאלו.

ניתן ליצור את הגרף על ידי שינוי זמני של הפונקציה make\_move כך שתחזיר את העומק המקסימאלי בחיפוש בבמקום את הצעד שסוכן בחר לעשות, ועל ידי הרצת הקוד הבא: