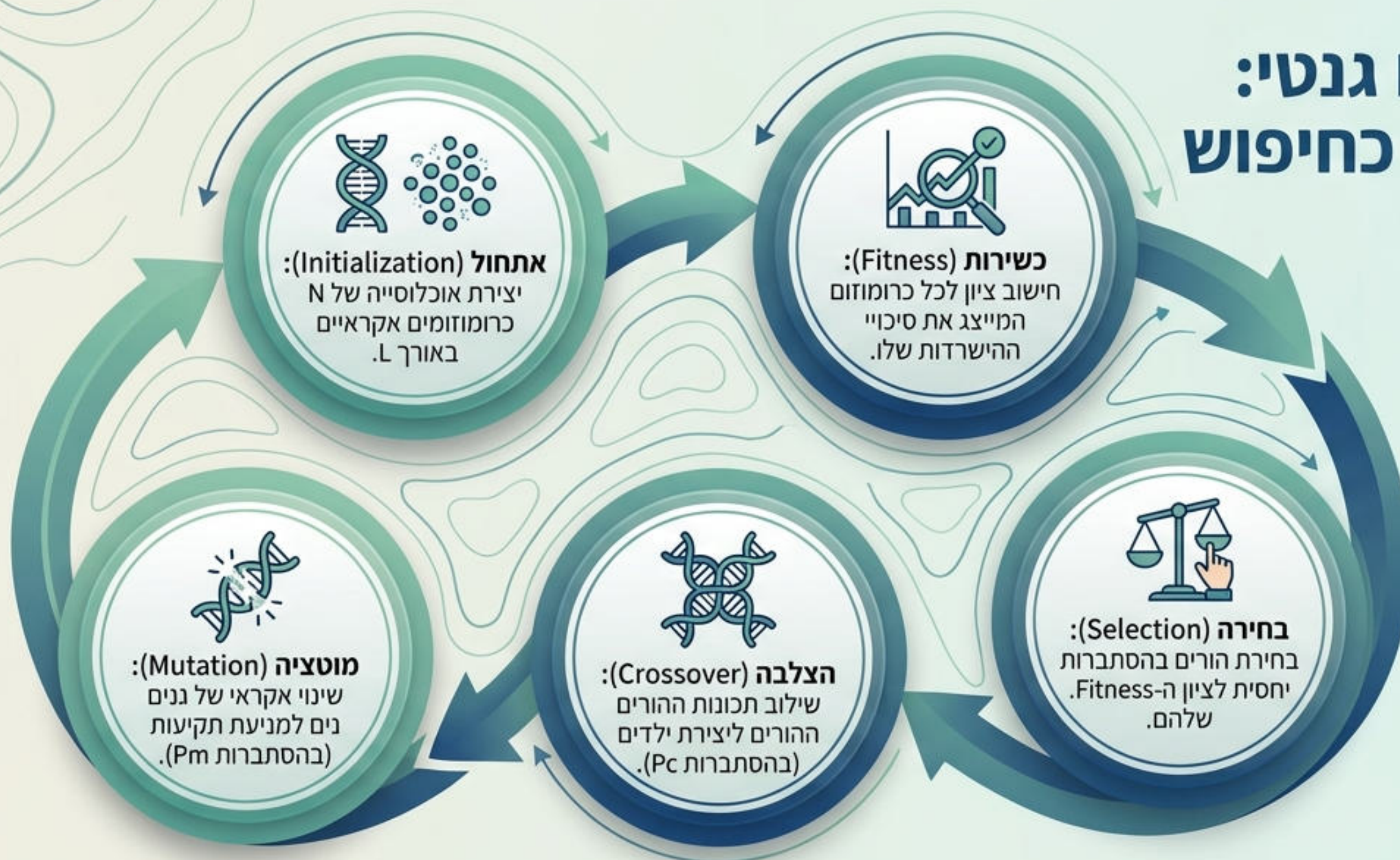


מאופטימיזציה למשחקי יריב

מסע קוגניטיבי מחיפוש
מקומי של סוכן יחיד ועד לקבלת
החלטות מול יריב אקטיבי.

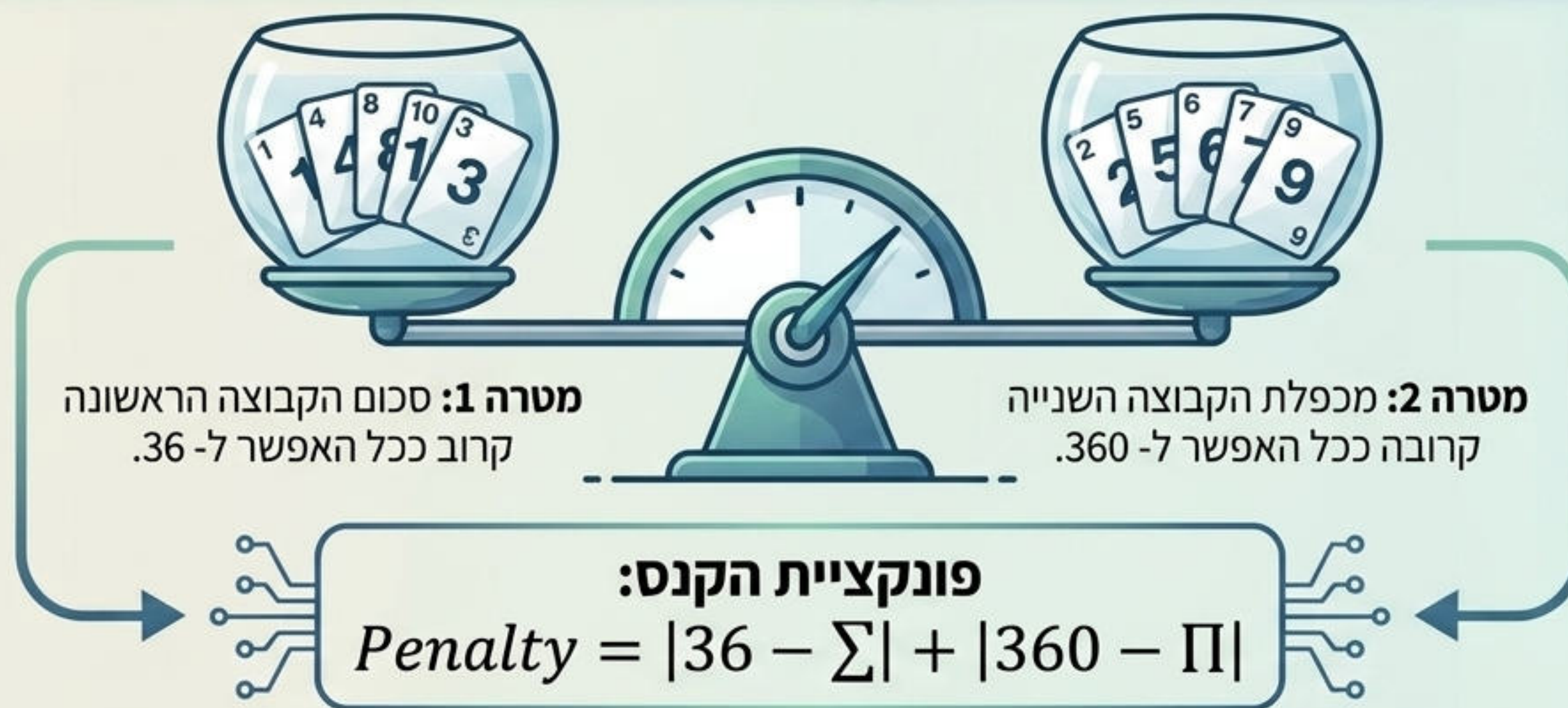
אלגוריתם גנטי: אבולוציה כחיפוש פתרון



התובנה: התהליך האבולוציוני הוא למעשה חיפוש אלומה מקומי סטוכסטי על פני מרחב הכרומוזומים.

בניית פונקציית הכשירות (Fitness) הלכה למעשה

הבעיה: נתונים 10 קלפים (1 עד 10). יש לחלקם לשתי קבוצות של 5 קלפים.



העיקרון: פונקציית ה-Fitness קונסת על סטייה מהמטרה. ערך 0 מייצג את הפתרון המושלם (למקסום, ניקח את ההופכי).

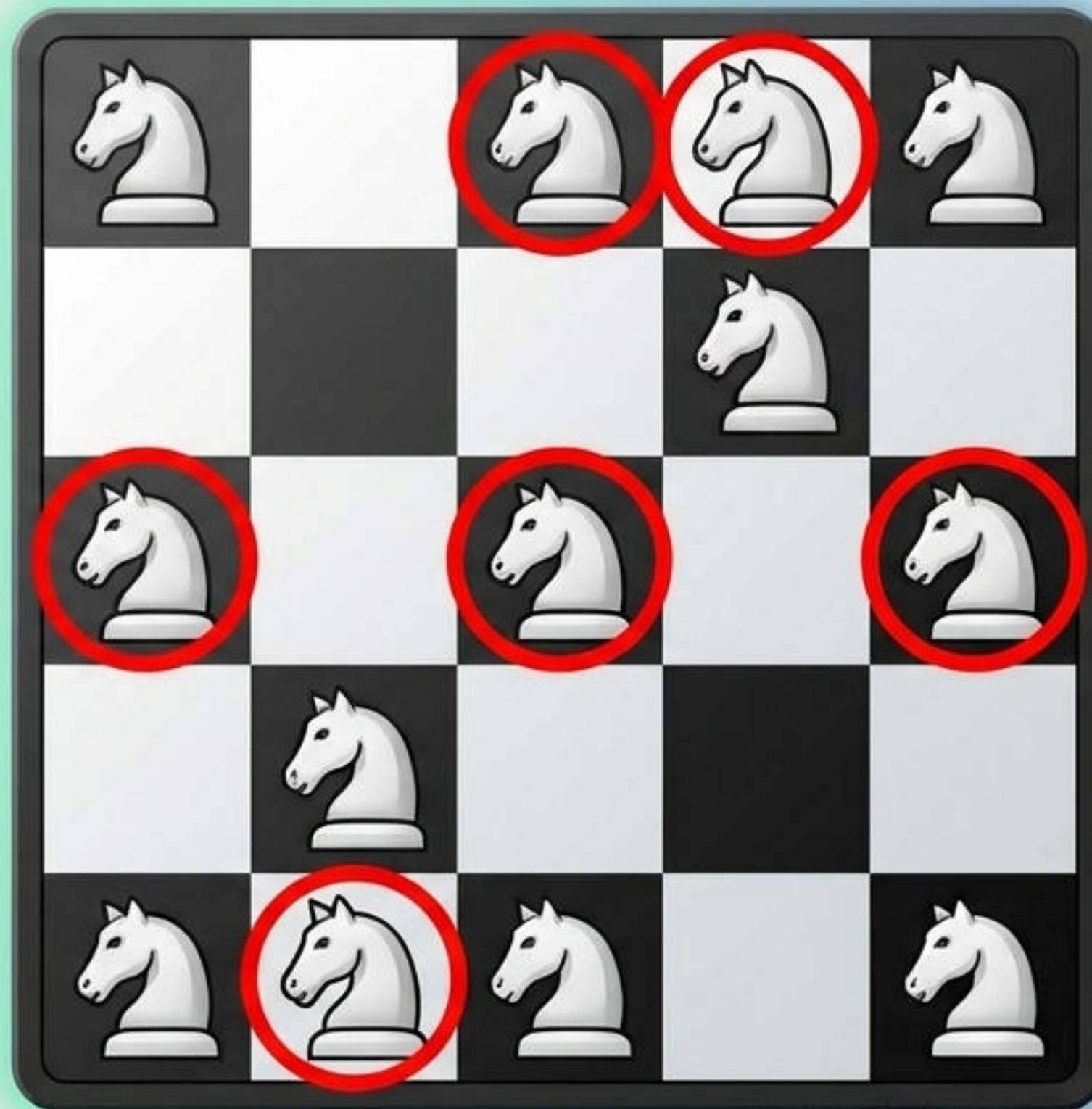
להיתקע בפסגה הלא נכונה: בעיית המקסימום המקומי

הבעיה

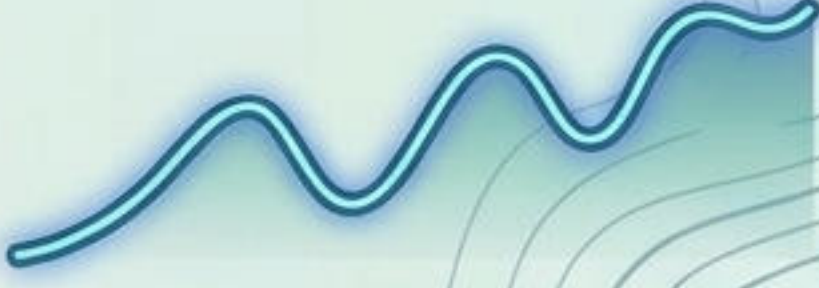
הצבת מקסימום פרשים על לוח 5×5 כך שלא יאיימו זה על זה.

המלכוד: מקסימום מקומי

מצב זה מהווה 'פסגה מזויפת'.
כל תזוזה של פרש בודד תוביל
למצב גרוע יותר (ירידה בערך
פונקציית המטרה), למרות שטרם
לפתרון הגלובלי האופטימלי.



מטריצת אסטרטגיות לחיפוש מקומי

התנהגות גרפית	תיאור	אסטרטגיה
	ינוע באופן עיוור. מבטיח מציאת פתרון אך יקר חישובית לחלוטין.	Exhaustive Search
	טיפוס גבעות עם צעדי צד. יצעד למישור ויחפש ללא כיוון. ייתקע אם נקלע למטרות דמה.	SAHC with Sideways Moves
	טיפוס גבעות עם אתחול. ייעצר במישור, ואז יתחיל מחדש אקראית אחרת עד לפגיעה במטרה.	SAHC with Random Restarts
	חיפוש סימולטני (Stochastic). מאפשר צעדים 'רעים' (ירידה) כדי לברוח ממינימום מקומי, בסיכוי שהולך ומתקרר.	Simulated Annealing

כשהסביבה משיבה מלחמה: אנטומיה של משחק

מרכיבי המשחק (Game Elements)

S - קבוצת מצבים (ומצב התחלתי).

Turn(s) - מי מהסוכנים משחק כעת?

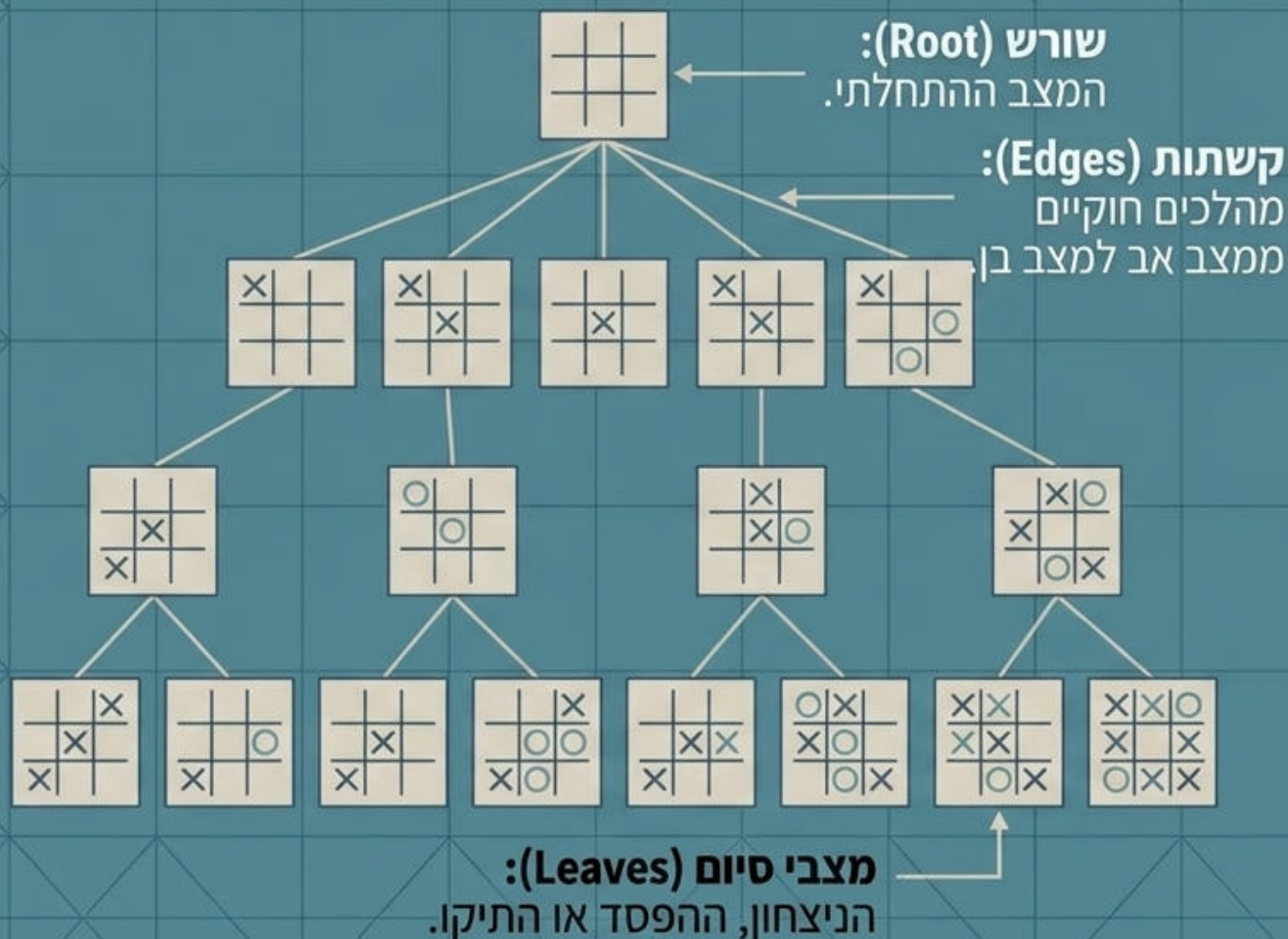
Succ(s, i) - פונקציית עוקב (מהלכים חוקיים).

U(s, i) - פונקציית תועלת במצבי סיום (ניצחון/הפסד/תיקו).

סיווג משחקים (Classification Matrix)

	מידע מלא (Full Info)	מידע חלקי (Partial Info)
דטרמיניסטי (Deterministic)	שחמט/ דמקה	(ריק)
אקראי (Stochastic)	שש-בש (קוביות)	פוקר/ רמי

למפות את שדה הקרב: עץ המשחק (Game Tree)

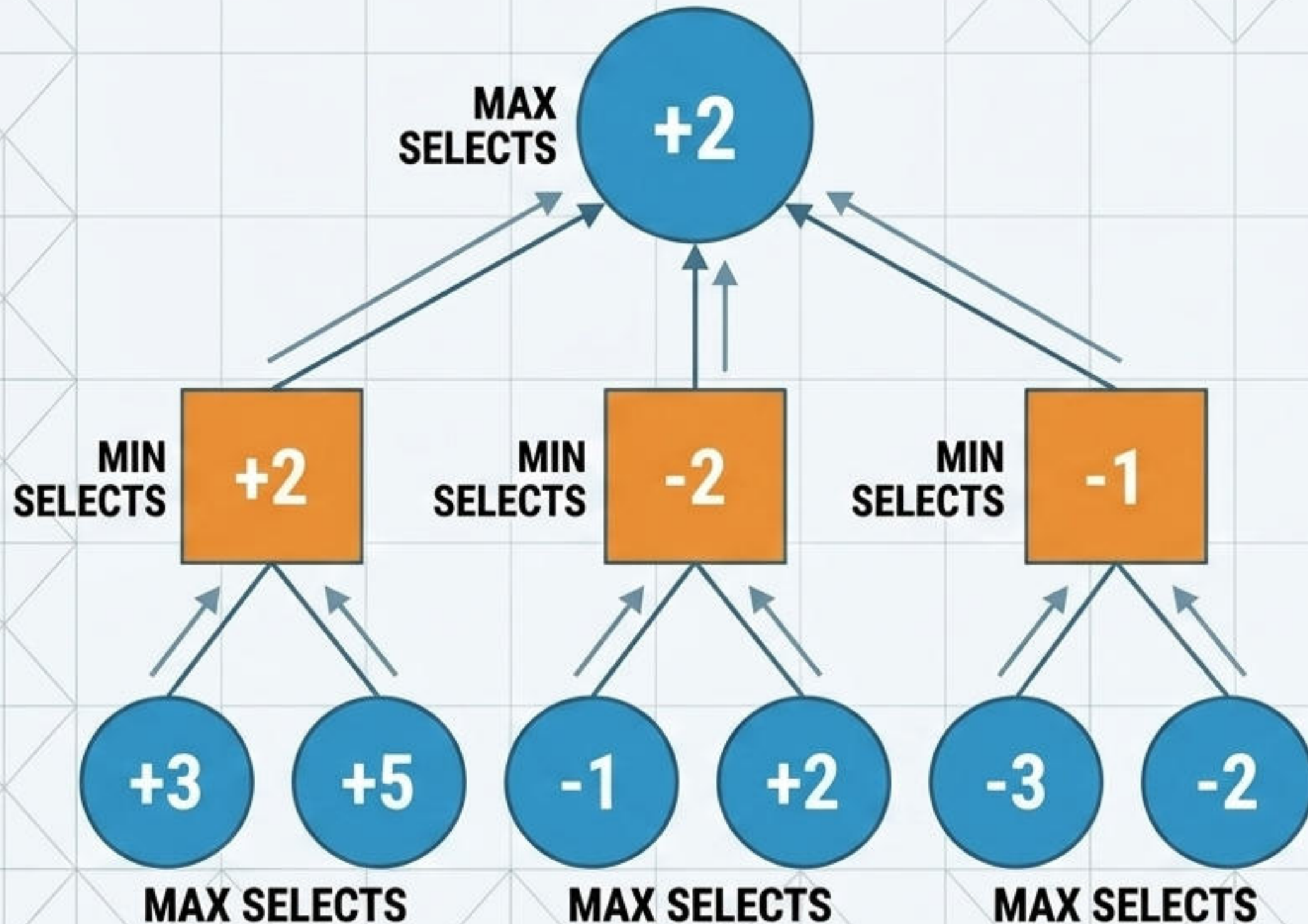


מושג מפתח: עץ אסטרטגיה

שיטה לייצג אסטרטגיה שלמה של סוכן.

העץ שומר את התגובה של הסוכן לכל מהלך אפשרי של היריב.
(צומת יריב נשמר במלואו, צומת סוכן נשמר כבן יחיד – המהלך הנבחר).

אלגוריתם Minimax: לחשוב מהסוף להתחלה



- **הרעיון:** פונקציה רקורסיבית המרחיבה את פונקציית התועלת גם למצבי ביניים.

- **תפקיד סוכן MAX (כחול):** בוחר תמיד את הערך המקסימלי האפשרי מבין ילדיו.

- **תפקיד סוכן MIN (כתום):** בוחר תמיד את הערך המינימלי האפשרי מבין ילדיו.

התנגשות המציאות: סיבוכיות המינימקס

זמן (Time):
 $O(b^m)$

מתנהג כמו חיפוש לרוחב BFS

מקום (Space):
 $O(bm)$

מתנהג כמו חיפוש לעומק DFS

בעיית השחמט

עומק משחק ממוצע $m \approx 100$

גורם סיעוף ממוצע $b \approx 35$

המסקנה: פתרון מדויק (פיתוח עץ שלם)
למשחק שחמט הוא לחלוטין בלתי ישים.

הפתרון המעשי: קיטוע ופונקציית הערכה יוריסטית



הגבלת עומק (D)

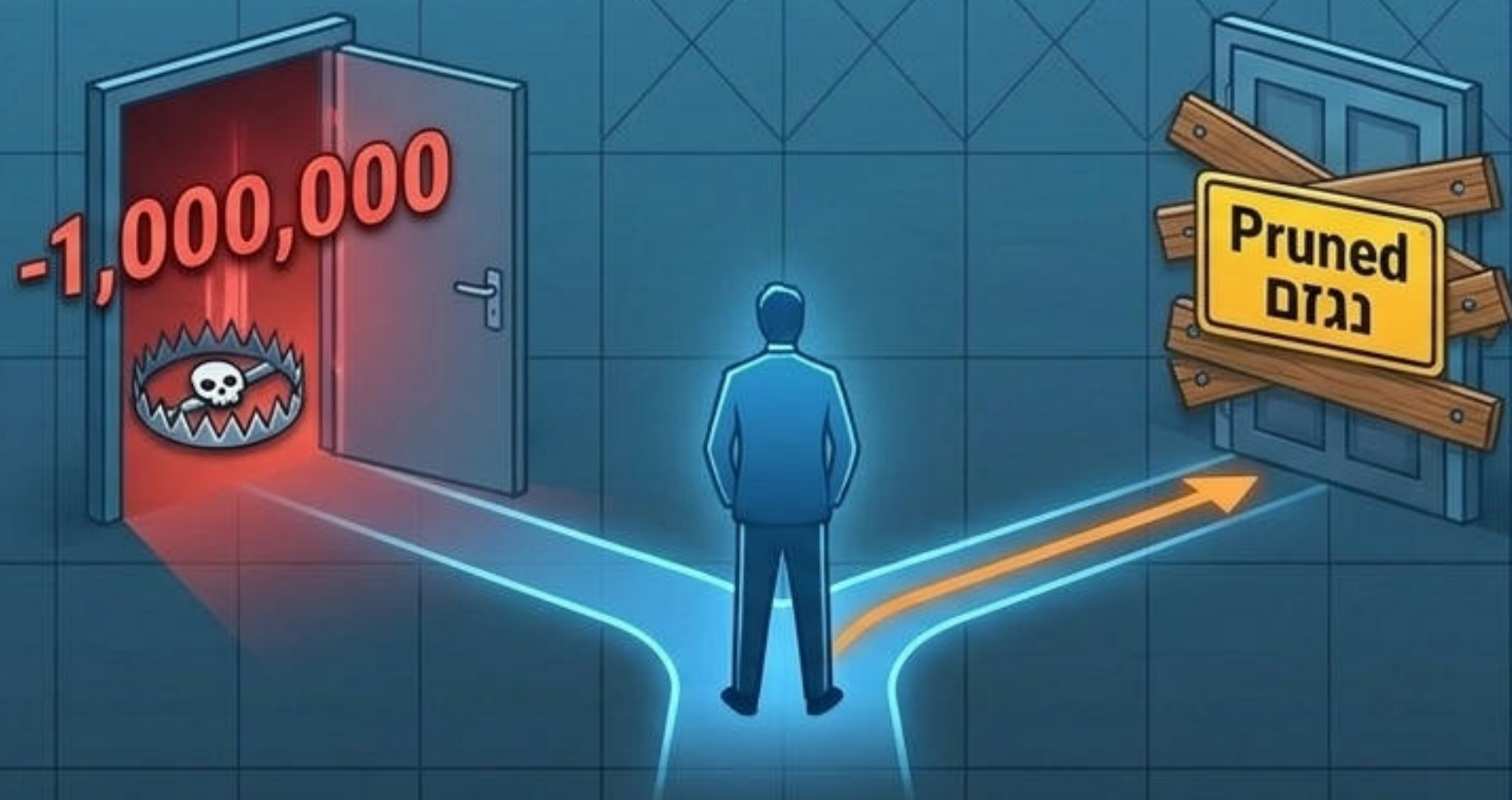
מפסיקים לפתח את העץ לאחר מספר מהלכים מוגדר מראש בגלל מגבלות משאבים.

פונקציית הערכה (Heuristic $h(s)$)

מחליפה את פונקציית התועלת האמיתית במצבים שאינם סופיים. תפקידה להעריך "מי מוביל" במצב הנוכחי.

כלל אצבע קריטי: היוריסטיקה חייבת להבטיח שערכי ניצחון/הפסד אמיתיים (Terminal states) יהיו תמיד קיצוניים יותר מכל הערכה יוריסטית.

לחשוב חכם, לא בכוח: הרעיון מאחורי גיזום אלפא-ביתא



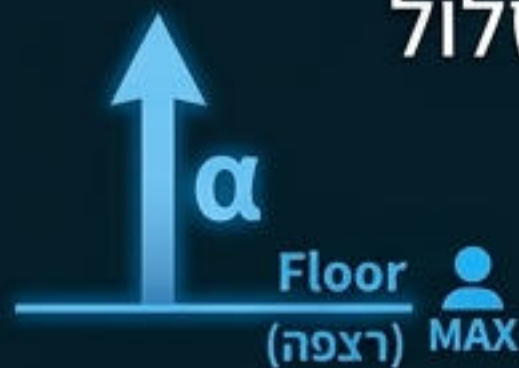
"אם במהלך סריקת העץ מצאתי אופציה שברור לי שהיא גרועה מספיק עבורי, לא אכפת לי *כמה היא יותר גרועה - אני פשוט אפסיק לחקור אותה ואגזום את הענף."

ההבטחה: אלגוריתם הגיזום מקטין משמעותית את זמן הריצה, אך **אינו** משפיע בשום צורה על התוצאה הסופית שהייתה מתקבלת במינימקס רגיל.

הכרת הסוכנים הסמויים: α ו- β

α (אלפא) - הרצפה של MAX

הערך המובטח, הגבוה (הטוב) ביותר שנמצא עד כה לאורך המסלול עבור שחקן ה-MAX.



חוק:

α היא 'רצפה'. שחקן MAX לעולם לא יסכים לקבל ערך נמוך ממנה בנתיב זה.

β (ביתא) - התקרה של MIN

הערך המובטח, הנמוך (הטוב) ביותר שנמצא עד כה לאורך המסלול עבור שחקן ה-MIN.



חוק:

β היא 'תקרה'. שחקן MIN לעולם לא יאפשר לערך לעלות מעליה בנתיב זה.

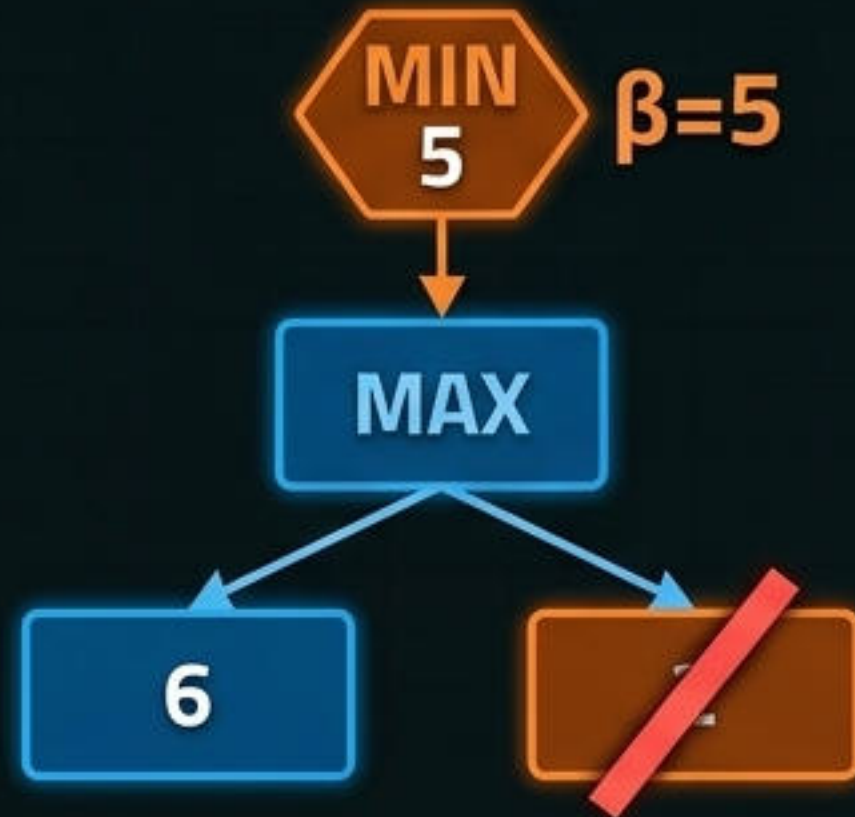
תנאי הגיזום: מופעל מיידית ברגע שהערך הנוכחי חורג מהגבולות הללו ($\alpha \geq \beta$).

$$\alpha \geq \beta$$



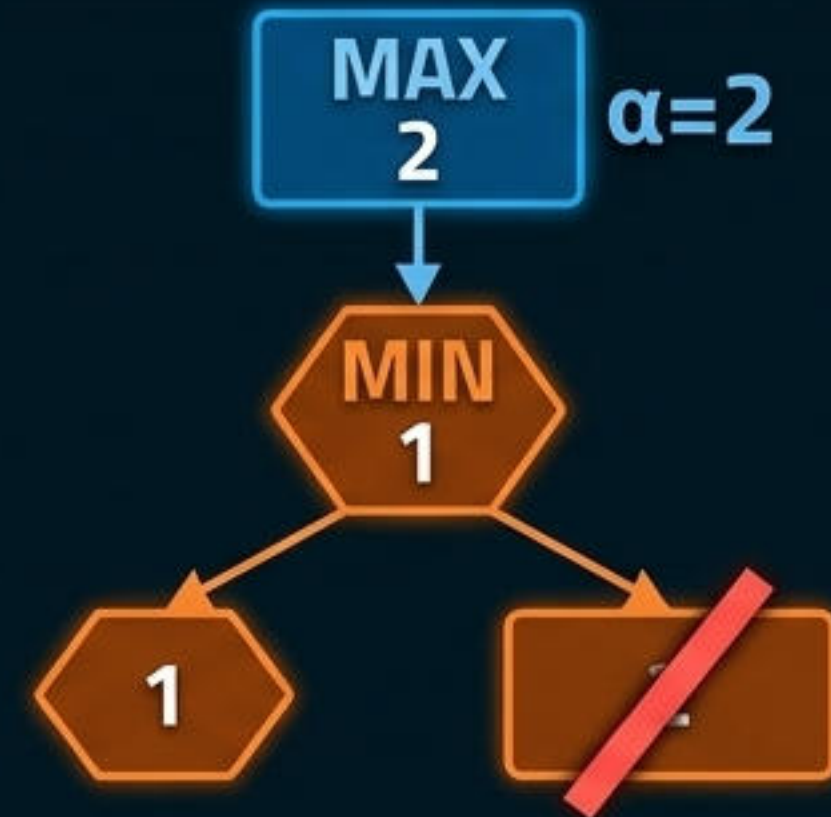
אנטומיה של גיזום (The Alpha & Beta Prune)

איך MIN גוזם (Beta Prune)



ל-MIN יש ערך מובטח של 5. הוא בודק את מסלול MAX. מצא 6. מאחר ש- $5 > 6$, MAX לעולם לא ייתן לערך לרדת מ-6. MIN לא יבחר במסלול זה לעולם. שאר הילדים של MAX נגזמים.

איך MAX גוזם (Alpha Prune)



ל-MAX יש ערך מובטח של 2. הוא בודק את מסלול MIN. מצא 1. MIN מצא 1. מאחר ש- $2 < 1$, MIN לעולם לא לערך לעלות מעל 1. ייתן MAX לא יבחר במסלול זה לעולם. שאר הילדים של MIN נגזמים.

סוד הקסם: סדר פיתוח הקודקודים

המקרה הגרוע (סריקת המהלכים הגרועים קודם)



המקרה הגרוע (סריקת המהלכים הגרועים קודם)



לא יתבצע שום גיזום. סיבוכיות הזמן נשארת $O(b^m)$.

אלפא-ביטא לעולם אינו משנה את *התוצאה* של המשחק,
הוא משנה רק את *חזו* הזמן שלוקח למצוא אותה.



המקרה האידיאלי

נגזום מקסימום ענפים.

מאפשר לחפש לעומק כפול באותו זמן חישוב מוקצב!

המסקנה: יוריסטיקה איכותית למעבר וסידור מוקדם של הקודקודים היא קריטית להצלחת האלגוריתם בסביבת זמן-אמת.

סיכום המסע: מחיפוש עיוור לאינטליגנציה תחרותית

סוכן יחיד מול הטבע

ניווט במרחבים רציפים (טופוגרפיה)
למקסום פיטנס ובריחה ממקסימום מקומי
אלגוריתמים גנטיים וסימולציות התקררות.

סביבה מרובת סוכנים

מעבר לעצי משחק נוקשים (Minimax),
שם יריב אקטיבי מנסה למזער את התועלת
שלנו בכל שלב.

אופטימיזציה קוגניטיבית

התגברות על מגבלות כוח חישוב באמצעות
יוריסטיקות וגיזום α - β , כדי למצוא פתרון
אידיאלי בזמן אמת.

סוכן יחיד מול הטבע

ניווט במרחבים רציפים (טופוגרפיה)
למקסום פיטנס ובריחה ממקסימום
מקומי בעזרת אלגוריתמים גנטיים
וסימולציות התקררות.

סביבה מרובת סוכנים

מעבר לעצי משחק נוקשים (Minimax),
שם יריב אקטיבי מנסה למזער את
התועלת שלנו בכל שלב.

אופטימיזציה קוגניטיבית

התגברות על מגבלות כוח חישוב בחישה
באמצעות יוריסטיקות וגיזום α - β , כדי
למצוא פתרון אידיאלי בזמן אמת.

אינטליגנציה מלאכותית כאן אינה רק יכולת חישוב כוחנית, אלא היכולת לדעת ממה אפשר להתעלם.