Agenda

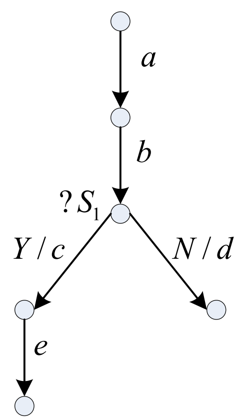


# Multi Entities Model (מודל רבי ישויות)

מוטיבציה: השגת מטרות משותפת. כלומר, בהינתן מודל רב ישויות ויעד לכל שחקן נרצה למצוא תוכנית משותפת (joint action) להשגת כל היעדים. שתי שאלות מנחות:

- האם אפשר לחסום את אורך התוכנית להשגת היעדים? (מבחינה חישובית, האם הבעיה קריאה?)
- במודלים ספציפיים יותר – האם הבעיה החישובית ניתן לפתרון במקום (מרחב) יעיל? /* מכיוון שלמרחב יעיל קיימת כמות גדולה של היוריסטיקות */

- **טענה 3.1** קיומה של תוכנית סופית להשגת היעדים (Cooperative goal achievement) לו מובטח. למרות זאת, אם ידוע כי תוכנית כזאת קיימת אז תוכנית זאת תהיה סופית.


*איור 1 – דוגמא לעץ פעולות של סוכן*

*סקיצת ההוכחה:* נניח כי קיימת תוכנית משולבת כלשהי להשגת המטרות. ראשית יש לשים לב שמכיוון שתוכניות הסוכנים ידועות לכל[*] (Common knowledge) כל עובדה (אובזרבציה) שנלמדת, ניתן לתרגמה לעובדה על הקונפיגורציה ההתחלתית (מכיוון שהנעלם היחיד הוא המצב ההתחלתי – אי וודאות). בלי הגבלת הכלליות, ניתן להתבונן על תוכנית של כל סוכן כעל עץ החלטה, כאשר קפיצה (התפצלות) בעץ מתבצעת רק כאשר עובדה נלמדה (ראה דוגמא באיור 1).

אם קיימת סיטואציה, כך שלאורך כל העצים (של כל הסוכנים) אין פיצול באף ענף לאורך יותר מ- $|C|$[†] (מספר הקונפיגורציות) צעדים, אזי ניתן למצוא תוכנית משולבת קצרה יותר (הכוונה כאן לכל תוכניות משולבות אפשריות). ולכן, מכיוון ש- $|C|$ ו- $|C_0|$ סופיים (סוכנים הם בעצם אוסף של מכונות בעלות מרחב סופי של מצבים), נקבל מ.ש.ל .

/* מודל זה בעל יחס טוב בין סיבוכיות לבין מה אפשר להציג בעזרתו */

## מודל אינפורמציה מלאה (C-CGA[‡])

מודל עשיר שמוכל במודל הנ"ל הוא מודל של **אינפורמציה מלאה** (C-CGA). כלומר, $C_0=\{c_0\}$ קיימת קונפיגורציה התחלתית אחת. במקרה זה, ניתן להראות כי בעית ההכרעה – האם קיימת תוכנית משולבת להשגת היעדים – ניתנת לחישוב במרחב (מקום) פולינומי. כלומר, נרצה לדעת האם קיימת תוכנית משולבת כזו.

*סקיצת ההוכחה:* במקרים שכאלה ניתן אלגוריתם שהינו אי-דטרמיניסטי. כלומר, אלגוריתם שיכול לבצע ניחושים הניתנים לכתיבה במרחב (מקום/זכרון) פולינומי, כאשר תחת ניחושים אלו לא ננצל יותר ממרחב פולינומי. [1] בקונפיגורציה ההתחלתית ננחש מה הפעולה המשולבת של סוכנים. לאחר מכן [2] נחשב מה הקונפיגורציה

[*] הדזיינר מעביר לכולם את התוכניות של כל יתר הסוכנים.
[†] מספר הקונפיגורציות במודל הבסיסי אשר לא מציג מצבי ידע.
[‡] Complete Information – Cooperative Goal Achievement

הבאה. [3] נחש מה הפעולה המשולבת הבאה , ונחזור ל- [2]. חשוב לשים לב, כי מספיק $|C|$ ניחושים כדי להגיע ליעדים (אם קיימת דרך כזאת). אלגוריתם שכזה הוא אלגוריתם ב- NP-SPACE.

➤ **משפט 3.1** NP-SPACE = P-SPACE .

*/* משפט זה שימושי במודל זה מכיוון שאנחנו מכירים הרבה היוריסטיקות לפתרון בעיות ב- P-SPACE. */*

## מודל כשלים (F-CGA§)

מקרה מעניין אחר הוא F-CGA . במודל זה, לכל היותר $t$ משתתפים יכולים להיכשל. כלומר, בסיטואציה מסוימת (אשר אינה ידוע מראש) משתתף יכול לבצע פעולה כלשהי ולהיכשל, דבר שמצוין ע"י כך שאותו סוכן עובר למצב "נשכל". במצב "נכשל" סוכן יכול לבצע רק את הפעולה הריקה $\Lambda$. (כלומר, סוכן לא יכול "לחזור" ממצב "נכשל").

נניח כי סוכנים יכולים לתאם את פעולותיהם, לראות את מצבם של כל הסוכנים האחרים ובנוסף לכך סוכנים יכולים לראות אם סוכן כלשהו נכשל. הגדרה זו מחוללת בעיה של מציאת אסטרטגיה מנצחת נגד הכשלים. כלומר, נגדיר, עבור כל נפילה לכל סוכן מה הפעולה שתתבצע. הבעיה כאן היא שעץ הפעולות של סוכן, אשר מכיל אינפורמציה אודות הכשלים, אקספוננציאלי ב- $t$. למרות זאת, במקום לייצר את כל עץ הפעולות של סוכן, ניתן לתת אלגוריתם ב- NP-SPACE כך שניצור התפצלות בעץ הפעולות עבור על כל אפשרות של כשל ונוסיף ענף אחד עבור מצב בו לא התרחש כשל כלשהו.

## Social Systems (מערכות סוציאליות)

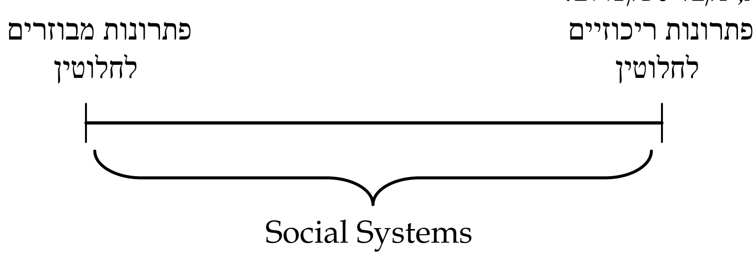
שאלות מנחות: מה קורה כאשר יעדי הסוכנים אינם ידועים מראש או כאשר לא קיים מתכנן מרכזי?

עד כה ראינו:

1) הצגת ידע קנונית באמצעות מודל רבי ישויות. (הצגת ידע בצורה עקיפה, כללית ומתאימה באופן פרקטי למספר רב של סיטואציות).
2) במערכת שכזאת, כאשר מתבוננים מנקודת מבטו של מתכנן מרכזי מספיק להתבונן על *תוכניות סופיות.*
3) בעיות טיפוסיות בהקשר של (מציאת יעדים) בחירת דרכים להשגת יעדים ניתנות לפתרון ב- P-SPACE באמצעות טכניקות שהדגמנו.

*/* בעזרת מודל זה מאוד נח להציג סיטואציות מעניינות. מודלים שהיו שימושיים מבחינה מעשית */*

*/* אם נבחן את סוגי הבעיות, נקבל ספקטרום:*

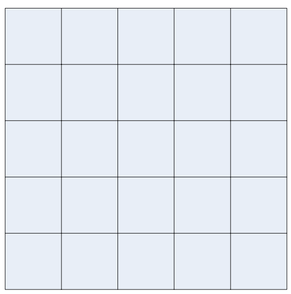



*כאשר הבעיות מצדו הימני מתאימות לבעיות בהן הכל ידוע (מדעי המחשב) ומצדו השמאלי בעיות שבהן הכל לא ידוע (כל סוכן לעצמו). בין שתי נקודות קיצוניות אלה ישנן אין-סוף בעיות, כאשר ההבדל ביניהם היא רמת הביזור של הבעיות. */*

§ Failures – Cooperative Goal Achievement

*/* אינטואיטיבית: מודלים ריכוזיים לגמרי (מדעי המחשב) ומודלים מבוזרים לגמרי (תורת המשחקים) די נכשלו בפתרון בעיות מסוג זה. בסופו של דבר, כל סוכן מתנהג ע"פ מערכת חוקים. כלומר, בשלב [א] קובעים חוקים חברתיים (אילוצים) [ב] כל סוכן יודע שהוא חייב להתנהג ע"פ אותם חוקים וגם שכל יתר הסוכנים מתנהגים לפי אותם החוקים. דבר זה גורר התנהגות עצמאית של כל סוכן. */*

**דוגמא 1:**



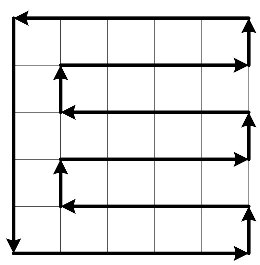
*איור 2 - grid*

נתון סורג (grid) בגודל $n\times n$ (איור 2). נתונים $m<n$ רובוטים היכולים לנוע, תנוע דיסקרטית (לשם פשטות), על אותו סורג. הרובוטים לא רואים אחד את השני ואין תקשורת בין הרובוטים.

לפני שנגדיר חוק חברתי, אנו דורשים שאותו חוק יקיים [א] safety – שלא יהיו התנגשויות בין הרובוטים [ב] liveness – השגת מטרות משותפת.

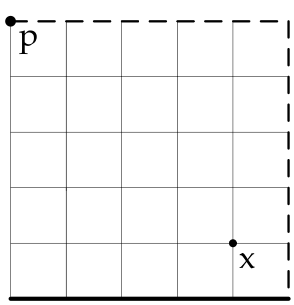
דבר זה מביא אותנו להגדרה של *חוק חברתי*. כלומר, נגדיר אוסף של אילוצים על תנועת של הרובוטים. אנו נדרוש מספר הגבלות על חוק חברתי: [א] בהינתן חוק חברתי, כל התנהגות של סוכנים שמצייתת לחוק החברתי תוביל לאי-התנגשות בין הסוכנים (safety). [ב] אם, תוך כדי התנהגות חברתית, הסוכן הגיע ליעדו אזי יש לו תוכנית חברתית (כלומר, משמרת חוקים) שמבטיחה הגעה ליעד <u>ללא תלות בהתנהגותם של יתר הסוכנים</u>, כל עוד גם הם מצייתים לחוקים החברתיים.

**דוגמאות לחוקים חברתיים (פתרונות):**



*איור 3*

➢ חוק חברתי אפשרי הוא מסלול המילטון (איור 3). כלומר, לא משנה מה היא נקודת ההתחלה של כל סוכן, אם סוכן שומר על מסלול זה (חוק חברתי), כיוון אחד כפי שנקבע בחוק וחוזר לנקודת המוצא שלו – כל סוכן ישיג את יעדיו ולא יהיו התנגשויות לא משנה מה עושה כל סוכן אחר. אבל, חוק זה אינו אופטימלי לבעיה הנתונה. כלומר, כאן כל סוכן עובר על כל נקודה בסורג - $O\left(n^2\right)$. האם קיים חוק חברתי יעיל יותר?




*איור 4*

➢ חוק חברתי אחר הוא *פונקצית הפוטנציאל (בעצם זהו מרחק נק' מנקודה p)*. נניח וכל הסוכנים מתחילים מהשורה התחתונה (במקומות שונים). הסוכנים ינועו עד לנק' x, יבחרו במסלול כלשהו לנק' p תוך כדי כך שהם לא עוברים דרך הקווים המקוקוים (איור 4). בנוסף לכך כל סוכן חייב לבחור באחד מהמסלולים הקצרים ביותר. לאחר מכן כל סוכן חייב לחזור לנק' x כאשר בדרכו חזרה הוא יכול להשתמש אך ורק בקווים המקוקוים.

כאן, קל לראות כי אם אין התנגשויות אזי כל סוכן יכול להגיע לכל נקודה על הסורג (חוץ מהשורה התחתונה). כדי להראות safety יש להבחין כי המרחק ההתחלתי של כל סוכן מהנק' p שונה מכל סוכן אחר. יש להבחין כי בכל נקודת זמן, בהנחה שכל סוכן ירצה לסיים את משימתו בזמן מינימלי, מרחקו מהנקודה p יהיה שונה ממרחקו של כל סוכן אחר מנק' p. לפי חוק חברתי זה, אזי מחיר (מרחק) השגת כל יעד, עבור כל סוכן יהיה $O\left(n\right)$.

## The Golden Mean Problem

יהי שני סוכנים, המשחקים אותו משחק ע"פ אוסף אסטרטגיות $S=\left(s_1,s_2,\ldots,s_n\right)$ כאשר אוסף המטרות $G=\left(g_1,g_2,\ldots,g_n\right)$:

$$\forall i \forall g\in G \exists s\in \bar{S}\ \ U_i^g\left(s,\sigma_{-i}\right)\geq \varepsilon \quad \left| \bar{S}\subseteq S,\ \forall\sigma_{-i}\in \bar{S}^{n-1}\right.$$

במקרה $n=2$ מציג בצורה טובה. בהינתן יעד $g_1$ לסוכן 1 אזי יש דרכים רבות להשגתו, אך הדבר דורש הגבלת סוכן 2. באופן, סימטרי הגבלת סוכן 2 תגרור גם הגבלת סוכן 1, ולכן סוכן 1 יכול לא להשיג יעד כלשהו.

לבעיית חיפוש הגבלות אופטימליות לסוכנים יש קשר הדוק לבעיית ה- SAT.

*/* לסיכום: הראינו גישה של מערכת חברתית אשר מובילה לבעיות חישוביות חדשות. */*