THE HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM

החוג למדעי הקוגניציה
האוניברסיטה העברית בירושלים
قسم العلوم الاستعرافيّة
الجامعة العبرية في اورشليم القدس
COGNITIVE SCIENCES
THE HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM

הבדלים בהתנהגות קבוצתית ברשתות חברתיות מסורתיות ומקוונות

עבודה סמינריונית - מדעי הקוגניציה והמוח

מגיש - אסף שילוח

תז - 313269599

מנחה - ד"ר ערן אלדר

דצמבר 2024

תקציר

עבודה זו בוחנת את ההבדלים בהתנהגות קבוצתית בין רשתות חברתיות מסורתיות למקוונות, תוך התמקדות במבנה הרשת ובדינמיקות החברתיות המשפיעות על יצירת התנהגויות קבוצתיות שונות כמו קונצנזוס או פולריזציה (קיטוב חברתי). המחקר מתבסס על סימולציות של מודל למידת חיזוק קבוצתי (Interindividual Actor-Critic), המשלב רכיבים רגשיים וקוגניטיביים בתהליכי קבלת החלטות קולקטיביים. הסימולציות מנתחות פרמטרים מרכזיים כגון חוזק הקשרים, דינמיות הרשת, משקל הפידבק החברתי וגודל הרשת. התוצאות מדגישות את השפעת המבנה החברתי על התנהגות קבוצתית, ומציעות תובנות לשיפור הבנה של אינטראקציות ברשתות שונות. העבודה מספקת בסיס למחקרים עתידיים שיבחנו כיצד ניתן לעצב רשתות חברתיות באופן שיקדם דינמיקות חיוביות, כגון צמצום פולריזציה וחיזוק אמון בין קבוצות.

הקדמה

רשתות חברתיות ממלאות תפקיד מרכזי בהבניית הקשרים והאינטראקציות בחברה האנושית. הן משמשות מסגרות להחלפת מידע, קבלת החלטות ושימור קשרים חברתיים, ומעצבות תהליכים קבוצתיים כמו יצירת נורמות וקבלת החלטות קולקטיביות. שני סוגי רשתות מרכזיים הם רשתות מסורתיות ורשתות מקוונות (אינטרנטיות).

רשתות מסורתיות מתאפיינות בקשרים אישיים חזקים, יציבים וסימטריים, המבוססים לרוב על קרבה גיאוגרפית, משפחתית או חברתית (Zhou et al., 2011). קשרים אלו מתאפיינים בהשפעה הדדית גבוהה ומשקל משמעותי לפידבק הניתן במרחבים אינטימיים יותר. לעומת זאת, רשתות מקוונות מציעות מודל שונה לחלוטין של קשרים חברתיים: הן מאופיינות בדינמיות גבוהה, אסימטריה בקשרים (למשל, מעקב אחר משפיענים מבלי לקבל משוב הדדי), ותהליכי משוב גלויים ומהירים, כמו לייקים ושיתופים, המשפיעים על דפוסי ההתנהגות (Lieberman & Schroeder, 2019). השינויים הללו יוצרים הקשרים שונים לחלוטין לתהליכים קבוצתיים ועשויים להשפיע על היווצרות קונצנזוס או על פולריזציה (קיטוב חברתי), המתבטאת בהתחזקות של דעות קיצוניות או מנוגדות והעמקת הפערים בין קבוצות.

המחקר בתחום רשתות חברתיות התבסס לרוב על מודלים של חיקוי והעתקה, כמו מודל DeGroot, המתאר כיצד משתתפים מעדכנים את דעותיהם על בסיס דעות שכניהם (DeGroot, 1974). בעוד מודלים אלו מספקים תובנות חשובות על מבנה הרשת ותפקידה בהפצת מידע, הם לרוב אינם לוקחים בחשבון מרכיבים קוגניטיביים ורגשיים אנושיים המשפיעים על תהליכים בתוך הרשתות השונות.

בעבודה זו נעשה שימוש במודל למידת חיזוק קבוצתית (Interindividual Actor-Critic) המספק מסגרת להבנת תהליכי למידה והתנהגות קבוצתית, בכך שהוא משלב רכיבים רגשיים ותהליכים קוגניטיביים בקבלת החלטות בלמידה קבוצתית (Babitz & Eldar, 2024). המודל מדמה רשת חברתית תיאורטית המורכבת מסוכנים המדמים בני אדם. המודל מאפשר לכל סוכן להעריך את פעולותיו ואת פעולות הסוכנים המחוברים אליו תוך קבלת פידבק מהסביבה החברתית. בכך, הוא

מספק מבט עשיר על דינמיקות קבוצתיות, כולל התכנסות לפעולה מסוימת או שמירה על גיוון התנהגותי. מאפייניו של המודל הופכים אותו לכלי מתאים לחקר ההבדלים בהתנהגות ברשתות חברתיות, במיוחד כאשר רוצים לבחון השפעות של מבנים חברתיים שונים על דפוסי למידה והתנהגות.

מטרת עבודה זו היא לבחון את ההבדלים בדינמיקה קבוצתית בין רשתות מסורתיות למקוונות. שאלת המחקר המרכזית היא: כיצד ההבדלים המבניים בין סוגי הרשתות משפיעים על ההתנהגות קבוצתית של הרשת.

הבחירה בפרמטרים כמו חוזק הקשרים, הדינמיות שלהם, משקל הפידבק החברתי וגודל הרשת נעשתה מכיוון שהם מייצגים את ההבדלים המרכזיים בין רשתות מסורתיות למקוונות (Grabowicz et al., 2012):

1. **חוזק הקשרים**: ברשתות מסורתיות קשרים חזקים ויציבים הם מאפיין מרכזי, בעוד שברשתות מקוונות הקשרים לרוב חלשים ורחבים יותר.
2. **דינמיות הקשרים**: ברשתות מסורתיות הקשרים קבועים יחסית, בעוד שברשתות מקוונות קשרים נוצרים ונעלמים במהירות. דינמיות זו משפיעה על היכולת של הקבוצות לשמר מבנים יציבים או להתכנס לדפוסים משותפים.
3. **משקל הפידבק החברתי**: ברשתות מסורתיות הפידבק החברתי, שמתקבל מאנשים קרובים, נושא משקל רב יותר. לעומת זאת, ברשתות מקוונות, אף שהיקף הפידבק גדול יותר, חשיבותו היחסית נמוכה, מה שמשפיע על התנהגות המשתמשים.
4. **גודל הרשת**: ברשתות מסורתיות, גודל הרשת מוגבל יחסית, בעוד שברשתות מקוונות ניתן להגיע למספר עצום של קשרים במקביל. גודל הרשת משפיע על דינמיקות כמו פיזור דעות, יצירת קונצנזוס, והיווצרות תופעות של פולריזציה.

למידת חיזוק קבוצתית: תיאור המודל

למידת חיזוק קבוצתית מציעה גישה מתקדמת להבנת תהליכי למידה ברשתות חברתיות, תוך שילוב בין תגמולים ישירים לפידבק המתקבל מפרטים אחרים ברשת. גישה זו מתארת כיצד פרטים לומדים לא רק מהתוצאות של פעולותיהם האישיות, אלא גם מהשפעת פעולותיהם על אחרים ומהפידבק שהם מקבלים מהסביבה החברתית. במודל זה (Babitz & Eldar, 2024), כל סוכן פועל לפי מדיניות הסתברותית $\pi(a|s)$, המתארת את ההסתברות לבחור פעולה a במצב s. הסוכן מקבל שני סוגי פידבק:

1. **תגמול ישיר** $R(s,a)$: מבטא את התועלת הישירה של הפעולה שבוצעה במצב הנתון.
2. **פידבק חברתי** $F(s,a)$: מבטא את הערכותיהם של אחרים לפעולה שביצע הסוכן, תוך התחשבות במבנה הרשת והקשרים בין הפרטים, המחושב כך:

$$F(s,a) = \sum_{j \in Neighbors(i)} w_{i,j} \cdot f_j(s,a)$$

כך ש-$w_{i,j}$ מתאר את עוצמת הקשר בין שני סוכנים i ו-j ואילו $f_j(s,a)$ מתאר את הפידבק המתקבל מסוכן j.

*במודל הנ"ל $w_{i,j}^{k}$ מתאר את ההסתברות שסוכנים i ו-j יתקשרו בסיבוב מספר k.

יתרון הפעולה $A(s,a)$ מחושב כהפרש בין התגמול הכולל של הפעולה לבין הערך הצפוי של המצב $V(s)$:

$$A(s,a) = (R(s,a) + F(s,a)) - V(s)$$

חישוב זה משקף את הערך המוסף של הפעולה ביחס לציפיות המוקדמות. יתרון פעולה גבוה יותר מצביע על פעולה מוצלחת יותר שראויה לשמש מודל לפעולות עתידיות. לאחר חישוב היתרון, המדיניות של הסוכן מתעדכנת כדי להעדיף פעולות בעלות יתרון חיובי. תהליך זה מתבצע על פי הנוסחה:

$$\pi_{new}(a|s) = \pi_{old}(a|s) + l \cdot A(s,a)$$

כאשר l מייצג את קצב הלמידה.

בנוסף, תהליך הלמידה מבוסס על אינטראקציות חברתיות, שבהן סוכנים אחרים, המשמשים כ"מבקרים" (Critics), משדרים את הערכותיהם לסוכן המבצע את הפעולה. הפידבק המתקבל מהמבקרים נלקח בחשבון בעדכון הערכים הצפויים של הסוכן ובשיפור המדיניות שלו.

מודל זה מאפשר לנתח כיצד מאפייני הרשת, כמו דינמיות הקשרים, פידבק גלוי ומשקלו, חוזק קשרים וגודל הרשת, משפיעים על תהליכי הלמידה וההתנהגות הקבוצתית. בכך הוא מציע גישה חדשה המשלבת תובנות רגשיות וקוגניטיביות לתוך מסגרת כמותית של למידת חיזוק קבוצתית.

שיטות

פרק זה מתאר את שיטת העבודה לצורך ביצוע סימולציות המבוססות על מודל למידת חיזוק קבוצתית (Interindividual Actor-Critic) וניתוח תוצאותיהן, במטרה לבחון את ההבדלים בין רשתות חברתיות מסורתיות לרשתות מקוונות, ולחקור אילו פרמטרים משפיעים על דינמיקות קבוצתיות כמו פולריזציה, יצירת קונצנזוס, או פיזור דעות. תחילה נבחן קבוצה יחידה (קהילה הומוגנית בה כל סוכן נמצא בקשר עם כל שאר הסוכנים) על מנת להבין כיצד פרמטרים כמו משקל הפידבק החברתי (Ratio), חוזק הקשרים בין הסוכנים, אסימטריות הקשרים, וקצב למידת הקשרים משפיעים על הדינמיקה הקבוצתית. לאחר מכן, ננתח את התנהגות המערכת במודל מורכב יותר הכולל שתי קבוצות נפרדות, ונבחן כיצד פרמטרים אלו משפיעים על יחסי הגומלין בין הקבוצות ועל דפוסי פולריזציה או גישור ביניהן.

סימולציה של קבוצה יחידה

הסימולציה מתמקדת בקבוצה יחידה המורכבת מ-n סוכנים, המדמים רשת חברתית הומוגנית. כל סוכן יכול לבחור בכל שלב פעולה מתוך שלוש אפשרויות:

- **פעולה אנוכית (0):** מספקת תגמול גבוה לסוכן עצמו אך גורמת להפסד לסוכנים האחרים המחוברים אליו.
- **פעולה שיתופית (1):** מספקת תגמול שווה לכל הסוכנים המחוברים אליו.
- **פעולה לא רציונלית (2):** מספקת תגמול שלילי לסוכן ולכל הסוכנים האחרים, ומשמשת כבסיס לבחינת מצבי קיצון.

כל צעד, הסוכנים מעדכנים את המדיניות שלהם בהתאם לשילוב של תגמול ישיר (עבור הפעולה שלהם) ופידבק חברתי שמושפע ממבנה הקשרים במטריצת השכנויות. ברשתות מסורתיות, הקשרים בין הסוכנים קבועים, סימטריים, והפידבק החברתי מקבל משקל גבוה יותר (Ratio גבוה), מה שמדגיש את השפעת הקבוצה על ההתנהגות.

לעומת זאת, ברשתות מקוונות, הקשרים מתעדכנים דינמית לאורך הזמן, ומשקל הפידבק החברתי נמוך יותר (Ratio נמוך), מה שמאפשר לסוכנים גמישות רבה יותר בהתנהגותם וביצירת הקשרים ברשת. הבדלים אלו עשויים להסביר דינמיקות שונות בין סוגי הרשתות.

סימולציה של שתי קבוצות

הסימולציה מתמקדת ברשת חברתית המורכבת משתי קבוצות סוכנים מובחנות, כאשר כל קבוצה מייצגת נטייה שונה (דעה או עמדה לדוגמא). המטרה היא לחקור את הדינמיקה בין הקבוצות, כולל היווצרות פולריזציה והשפעת מבנה הרשת על ההתנהגות. כל קבוצה מכילה סוכנים אשר מוגדרים לפי השתייכותם לקבוצה מסויימת (קבוצה 1 או קבוצה 2). כל סוכן יכול לבחור בכל שלב פעולה מתוך שלוש אפשרויות:

1. **פעולה פרו-קבוצתית (0/1)**: פעולה זו מחזקת את הקבוצה אליה הסוכן משתייך ומספקת תגמול גבוה לחבריו בתוך הקבוצה, אך עשויה לגרום להפסד עבור סוכנים בקבוצה האחרת.
2. **פעולה ניטרלית (2)**: פעולה זו מספקת תגמול שווה לכל הסוכנים, ללא קשר להשתייכות הקבוצתית, במטרה לדמות גשרים בין קבוצות ולהפחית את השפעת הפולריזציה.

בסימולציה זו, כל קבוצה מייצגת תת-רשת עם קשרים חזקים בין הסוכנים בתוכה וקשרים חלשים או נעדרים לחלוטין בין סוכנים משתי הקבוצות. מבנה זה מדמה מציאות של קבוצות חברתיות בעלות זהות מובחנת, שבהן האינטראקציות הפנים-קבוצתיות משמעותיות יותר לעיצוב ההתנהגות מאשר האינטראקציות הבין-קבוצתיות. בטבלה 1 מרוכזים ערכי הפרמטרים ההתחלתיים בהרצת הסימולציות.

פרמטר	רשתות מקוונות	רשתות מסורתיות	חלוקה לקבוצות
חוזק הקשרים	חלש ודינמי, משתנה לאורך הזמן wij != wji !=1	גבוה וקבוע לאורך הסימולציה: wij = wji = 1	קשרים חזקים בתוך הקבוצה וחלשים בין הקבוצות
אסימטריות הקשרים	קשרים אסימטריים: wij != wji	קשרים סימטריים: wij = wji	ללא שינוי
גודל הרשת (n)	רשת גדולה בעלת 100-5000 סוכנים	רשת קטנה המדמה קהילה של 5-30 סוכנים	במצב עולם של שתי קבוצות קיימת קבוצה בגודל של 0.5n >=
משקל הפידבק החברתי (ratio)	0.1	0.6	ללא שינוי
עדכון הקשרים (lrm)	קשרים דינמיים, מתעדכנים לפי הצלחת הפעולות (lrm=0.001)	קשרים יציבים לאורך זמן (lrm=0)	ללא שינוי

טבלה 1. טבלת הצגת טווחי פרמטרים בהרצת סימולציה על התנהגות ברשתות החברתית

ניתוח סימולציות בקבוצה יחידה

במטרה לבחון את דינמיקת הלמידה והתנהגות הקבוצה, נעשה שימוש בשני שלבים עיקריים:

1. **ממוצע בחירת הפעולות**: מדד זה משקף את ההעדפות של הסוכנים לאורך זמן ומאפשר לזהות מגמות התכנסות לפעולה מסוימת או שימור גיוון התנהגותי.
2. **ניתוח השפעת הפרמטרים על בחירת הפעולה**: במסגרת זו נבחנו ארבעה פרמטרים עיקריים המשפיעים על התכנסות הקבוצה לפעולה מועדפת; משקל הפידבק החברתי (Ratio), חוזק הקשרים, קצב למידת הקשרים וגודל הרשת. בכל בדיקה, רק פרמטר אחד שונה בכל פעם, תוך שמירה על יתר הפרמטרים קבועים. תהליך אינו אידיאלי אך מאפשר לבודד את השפעת כל פרמטר על דפוסי בחירת הפעולות ועל קצב ההתכנסות לפעולה מועדפת.

ניתוח זה מאפשר להעריך כיצד מבנה הרשת החברתית ותכונותיה משפיעים על היווצרות שיתוף פעולה, גיוון התנהגותי או פולריזציה בתוך הקבוצה.

ניתוח תוצאות סימולציות שתי הקבוצות

חישוב עוצמת הפולריזציה

פולריזציה בסימולציה זו מוגדרת כפער בין ממוצעי ההעדפה לפעולות המיוחסות לכל קבוצה ממושקל עם העדפת הפעולה הנייטרלית. חישוב זה מתבסס על מסקנות המאמר בנוגע להשפעת ההבדלים בהעדפות קבוצתיות על דינמיקות חברתיות (Mavrodiev, Tessone, & Schweitzer, 2013). ערכי הפולריזציה מחושבים באמצעות:

$$Polarization\ level = ½\,[(\bar{A}_{1,0} - \bar{A}_{1,1}) + (\bar{A}_{2,1} - \bar{A}_{2,0})] \cdot (1 - \bar{A}_{neutral})$$

כך ש $\bar{A}_{i,j}$ הוא ממוצע העדפת קבוצה i את פעולה j ו - $\bar{A}_{neutral}$ הוא ממוצע העדפת שתי הקבוצות את הפעולה הנייטרלית.

חישוב זה מייצג את עוצמת ההפרדה בין ההעדפות של שתי הקבוצות, תוך התחשבות בהשפעה של פעולה נייטרלית כגורם מפחית פולריזציה.

1. התכנסות לבחירת פעולה לפי קבוצות: ממוצע בחירת הפעולות של כל קבוצה לאורך הסיבובים מאפשר לזהות דפוסים של התכנסות לפעולות פרו-קבוצתיות או שמירה על איזון התנהגותי. המדד מציג את ההעדפות המתפתחות של כל קבוצה ביחס לפעולות המיוחסות לה (פרו-קבוצתיות) או מנוגדות לה, ומסייע להעריך האם קיימת מגמת התכנסות דומה או שונה בין הקבוצות.

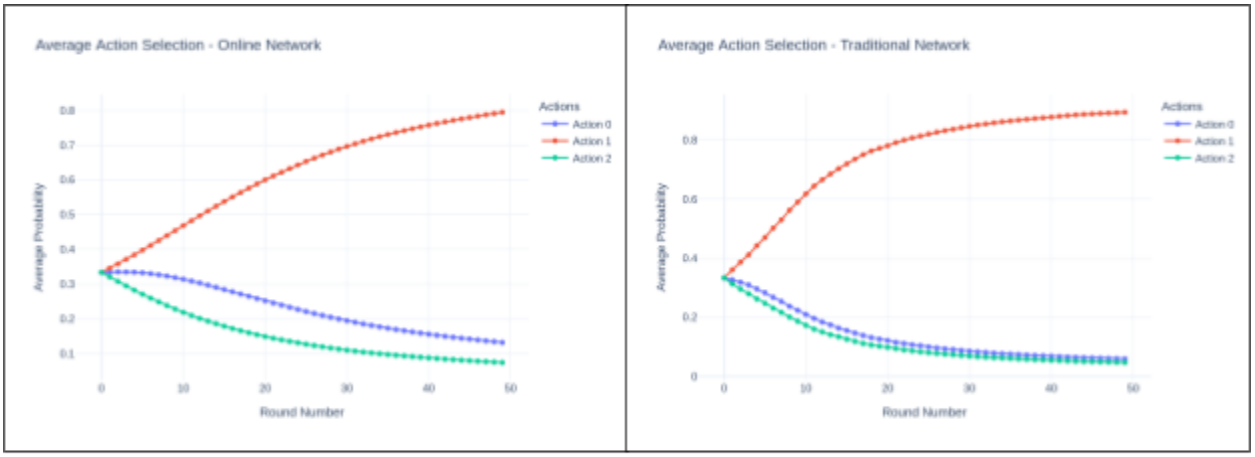
2. השפעת פרמטרים על עוצמת הפולריזציה: נבחנה השפעת שינוי פרמטרים מבניים והתנהגותיים של הרשת על עוצמת הפולריזציה:

- **חוזק הקשרים** – כיצד חיזוק או החלשת קשרים בתוך ובין הקבוצות משפיע על היווצרות פערים בהעדפות הפעולות.
- **קצב למידת הקשרים** – השפעת דינמיות עדכון הקשרים על עוצמת הפולריזציה.
- **משקל הפידבק החברתי** – כיצד העלאת או הורדת משקל הפידבק משפיעה על ההתכנסות לפעולות מבודדות.
- **גודל הרשת** – בחינת השפעת מספר הסוכנים על התפתחות הפולריזציה לאורך זמן.

ממצאים אלו מאפשרים לזהות אילו פרמטרים מחזקים את הפערים בין הקבוצות ומקדמים פולריזציה, ואילו פרמטרים תורמים לצמצום הפערים וליצירת מגמות של שיתוף פעולה בין-קבוצתי.

תוצאות

העדפת פעולה בקבוצה אחת:



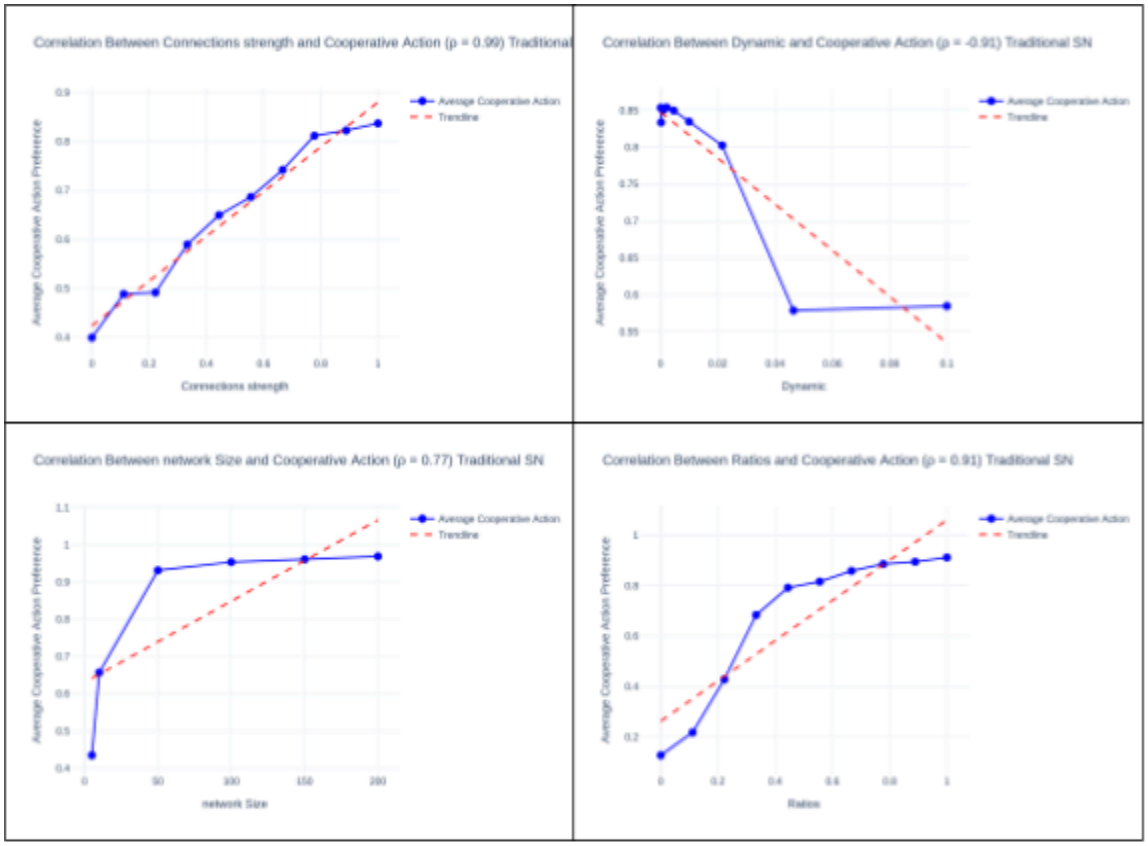
איור 1: התכנסות להעדפת פעולה על ידי סוכני הרשת. הגרף מתאר את ממוצע העדפות הסוכנים על גבי 10 סימולציות כאשר בכל סימולציה נעשו 50 סיבובים. מסורתית מימין ומקוונת משמאל.

איור 1 מציג את דינמיקת העדפת הפעולות לאורך זמן עבור רשתות מסורתיות ומקוונות. בשתי הרשתות ניתן לראות התכנסות מובהקת לפעולה 1 (שיתופית), אך בקצבים מעט שונים. ברשת המסורתית (מימין) ההתכנסות מהירה וברורה יותר, עם מעבר חד מפעולה 0 (אנוכית) לפעולה 1, כנראה בשל יציבות הקשרים והמשקל הגבוה של הפידבק החברתי.

לעומת זאת, ברשת המקוונת ההתכנסות איטית יותר. אמנם הסוכנים מקבלים פידבקים רבים יותר, בשל מבנה הרשת הדינמי והרחב, אך כל פידבק בודד משפיע פחות על ההתנהגות. ייתכן שהאיזון בין כמות הפידבקים ומשקלם היחסי מבטל במידה מסוימת את ההבדלים המשמעותיים בהתנהגות בין סוגי הרשתות.

מתאם בין פרמטרים ברשת מסורתית לבין העדפת הפעולה השיתופית:

מתאם פירסון (p) משמש למדידת עוצמת וכיוון הקשר בין פרמטרים שונים (כגון חוזק הקשרים, דינמיות הקשרים, גודל הרשת ומשקל הפידבק החברתי) לבין ההעדפה לפעולה שיתופית. הערכים שהתקבלו (בין 1- ל 1) מצביעים על עוצמת הקשר ומשמעותו עבור הדינמיקה הקבוצתית ברשתות מסורתיות.



איור 2: גרפים המתארים את העדפת הפעולה השיתופית כפונקציה של שינוי בפרמטר ברשת המסורתית וגם מתאם פירסון לתיאור חשיבות הפרמטר בהעדפת הפעולה השיתופית.

חוזק הקשרים (שמאל למעלה): גרף המתאם מראה השפעה חזקה מאוד (p = 0.99) של חוזק הקשרים על ההעדפה לפעולה שיתופית. ברשת מסורתית, חוזק קשרים גבוה מקדם שיתוף פעולה ומוביל להתכנסות מהירה לקונצנזוס.

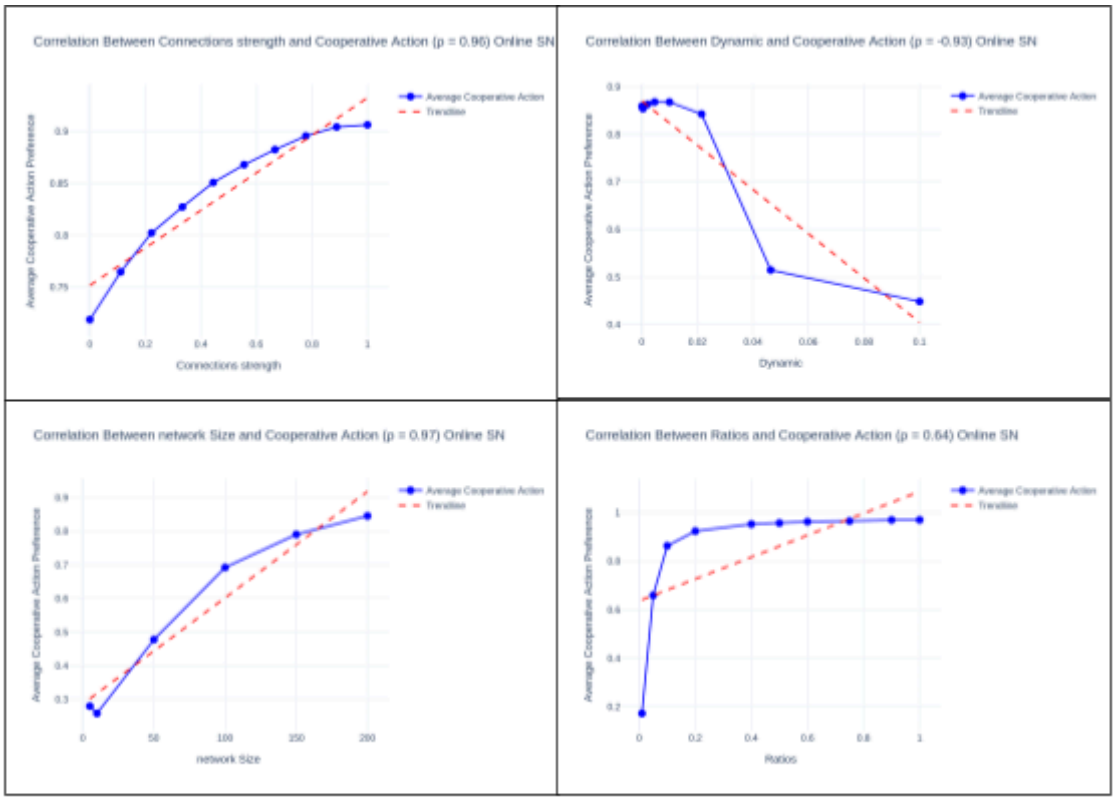
דינמיות הקשרים (ימין למעלה): דינמיות גבוהה, כפי שמוצגת בגרף, מפחיתה את ההעדפה לפעולה שיתופית (p = -0.91). תוצאה זו עשויה לנבוע מכך ששינויים מתמידים בקשרים חזקים פוגעים ביציבות הנדרשת להתכנסות קבוצתית.

גודל הרשת (שמאל למטה): הגדלת גודל הרשת משפרת את ההעדפה לשיתוף פעולה (p = 0.77), אם כי בעוצמה נמוכה יותר בהשוואה לחוזק הקשרים. ניתן לראות כי מגודל רשת מסוים (בערך 50) נוצר קונצנזוס מוחלט לגבי העדפת פעולה שיתופית.

משקל הפידבק החברתי (ימין למטה): המשקל הגבוה של הפידבק החברתי (p = 0.91) מקדם את בחירת הפעולה השיתופית, מה שמדגיש את תפקיד הפידבק בעידוד דינמיקה קבוצתית חיובית ברשת מסורתית.

הניתוח מראה שברשתות מסורתיות פרמטרים כמו חוזק קשרים ומשקל הפידבק החברתי תומכים בבחירת פעולה שיתופית ומקדמים קונצנזוס בבחירתה. מנגד, דינמיות גבוהה בקשרים פוגעת ביציבות ומובילה להפחתת ההעדפה לשיתוף פעולה. התוצאות תואמות את ההנחה שרשתות מסורתיות נוטות לשימור יציבות וקשרים חזקים.

מתאם בין פרמטרים ברשת מקוונת לבין העדפת הפעולה השיתופית:



איור 3: גרפים המתארים את העדפת הפעולה השיתופית כפונקציה של שינוי בפרמטר ברשת המקוונת וגם מתאם פירסון לתיאור חשיבות הפרמטר בהעדפת הפעולה השיתופית.

חוזק הקשרים (שמאל למעלה): קיים קשר חיובי חזק (p=0.96) בין חוזק הקשרים להעדפת פעולה שיתופית. ככל שהקשרים חזקים יותר, שיתוף הפעולה עולה, ככל הנראה בשל השפעה חברתית מוגברת.

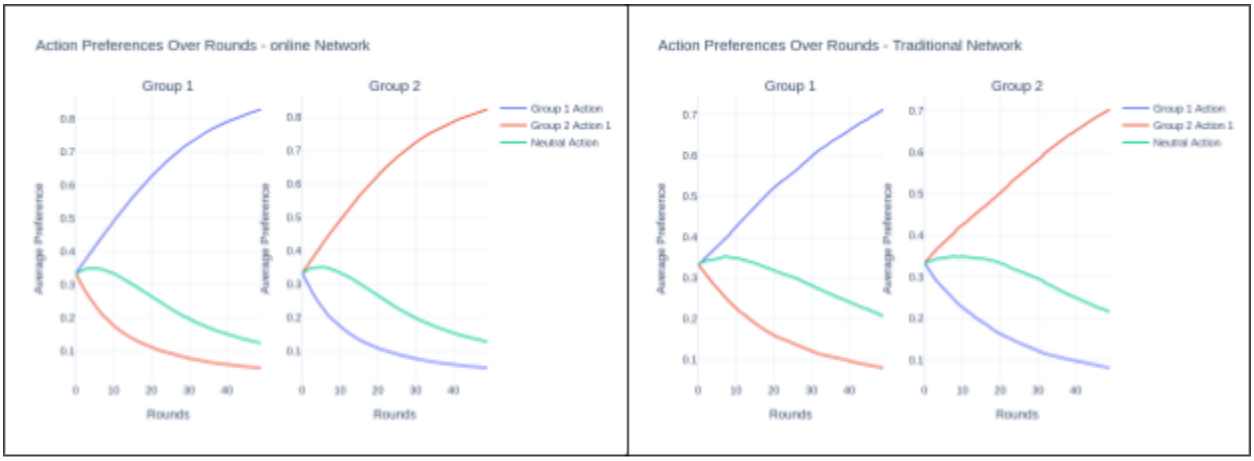
דינמיות הקשרים (ימין למעלה): דינמיות נמוכה-בינונית (עד 0.02) משפרת שיתוף פעולה באמצעות חיזוק קשרים, אך דינמיות גבוהה פוגעת בהתכנסות לפעולה שיתופית (p=-0.93).

גודל הרשת (שמאל למטה):ישנה קורלציה חזקה (p=0.97) בין גודל הרשת לבין העדפת הפעולה השיתופית. רשתות גדולות מאפשרות השפעה חברתית רחבה ויציבות.

משקל הפידבק החברתי (ימין למטה): מעבר לסף מסוים במשקל הפידבק (p=0.64), נצפית התכנסות להעדפת פעולה שיתופית, כנראה כתוצאה מהצטברות ההשפעה של פידבקים רבים.

הניתוח מראה שברשתות מקוונות פרמטרים כמו חוזק קשרים וגודל הרשת תומכים בבחירת פעולה שיתופית ומקדמים קונצנזוס, בדומה לרשתות מסורתיות. דינמיות נמוכה-בינונית בקשרים עשויה לחזק את שיתוף הפעולה על ידי שיפור הקשרים החברתיים, אך דינמיות גבוהה פוגעת ביציבות הרשת ומובילה להפחתת ההעדפה לשיתוף פעולה. בנוסף, משקל הפידבק החברתי תורם להתכנסות לשיתוף פעולה כאשר הוא עובר סף מסוים, אך אפקט זה מתמתן בהשוואה לרשתות מסורתיות בשל חשיבות נמוכה יותר של כל פידבק בנפרד. תוצאות אלו משקפות את האופי הדינמי והגמיש של רשתות מקוונות, המאפשרות השפעה רחבה אך דורשות איזון עדין יותר בין פרמטרים לשמירה על יציבות וקונצנזוס.

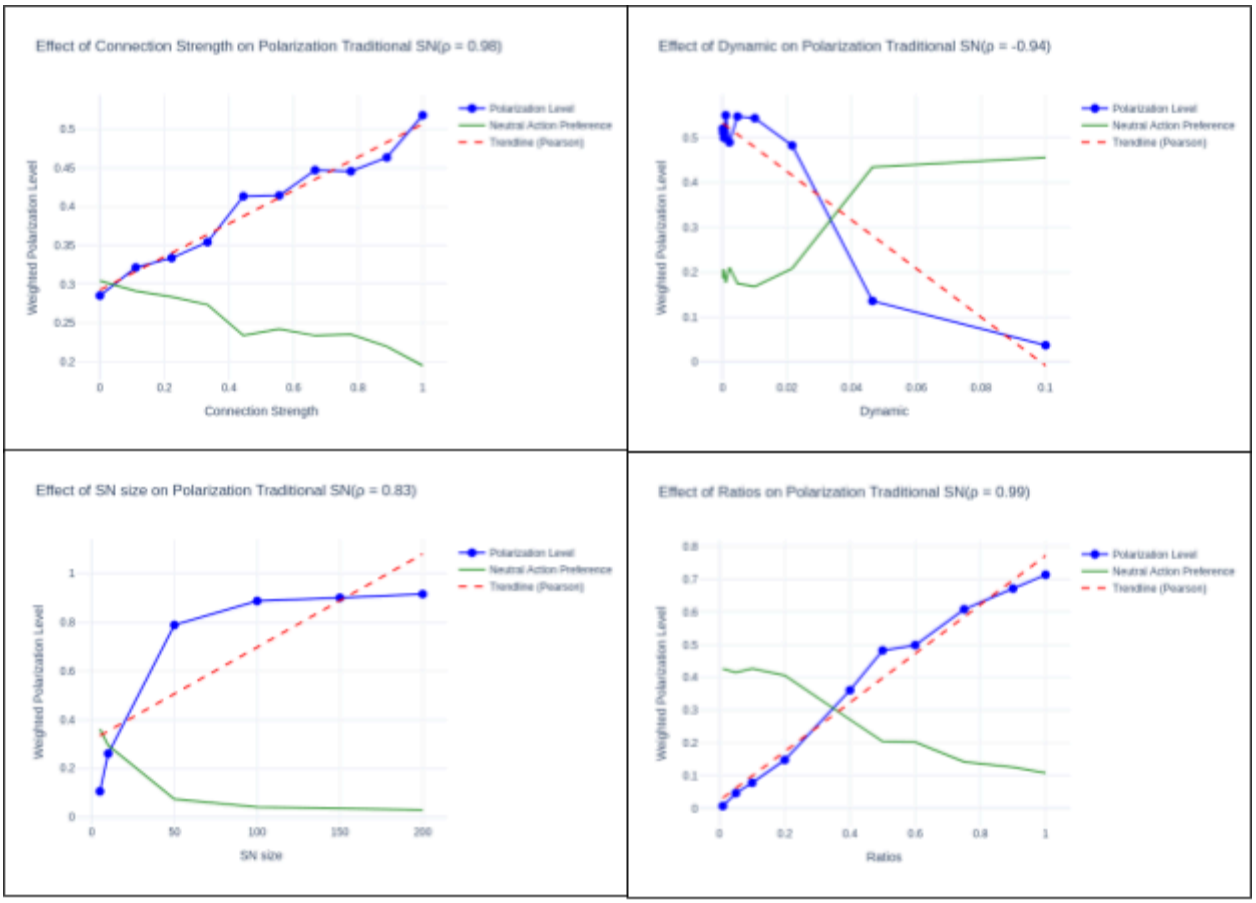
העדפת פעולה בשתי קבוצות והיווצרות פולריזציה:



איור 3: העדפת פעולה בחלוקה לפי שתי קבוצות ברשת חברתית מסורתית העדפת פעולה בחלוקה לפי שתי קבוצות ברשת חברתית מקוונת

איור 3 מציג את התפתחות העדפת הפעולות לאורך 50 סבבים עבור שתי קבוצות ברשתות מסורתיות ומקוונות (בממוצע של 10 סימולציות). בשני סוגי הרשתות ניכרת היווצרות פולריזציה ברורה: כל קבוצה מתכנסת להעדפת פעולה שמזוהה איתה, תוך דחייה של הפעולה המזוהה עם הקבוצה השנייה. יחד עם זאת, התוצאות בין הרשתות דומות מאוד, כאשר שתי הקבוצות ברשת המסורתית והמקוונת מראות דפוסי התנהגות דומים של העדפת פעולה ברורה עם ירידה מתמשכת (אם כי בקצב מעט שונה) בבחירה בפעולה הנייטרלית. הדבר עשוי להצביע על כך שהמבנה והרכב הקשרים בשני סוגי הרשתות מאפשרים היווצרות של פולריזציה דומה, למרות ההבדלים המבניים והדינמיות בין הרשתות.

מתאם בין מאפייני הרשת להיווצרות פולריזציה ברשת חברתית מסורתית:



<u>איור 4</u>: גרפים המתארים קורולציית פירסון בין מאפייני הרשת לבין היווצרות פולריזציה בין שתי קבוצות ברשת מסורתית

חוזק הקשרים בתוך הקבוצה (שמאל למעלה): העלאת חוזק הקשרים מגבירה את רמת הפולריזציה באופן ברור, כפי שמשתקף במתאם הגבוה ($p = 0.98$). התחזקות הקשרים מאפשרת לקבוצות להתכנס לפעולות המזוהות איתן, ומפחיתה את השפעת הפעולה הנייטרלית.

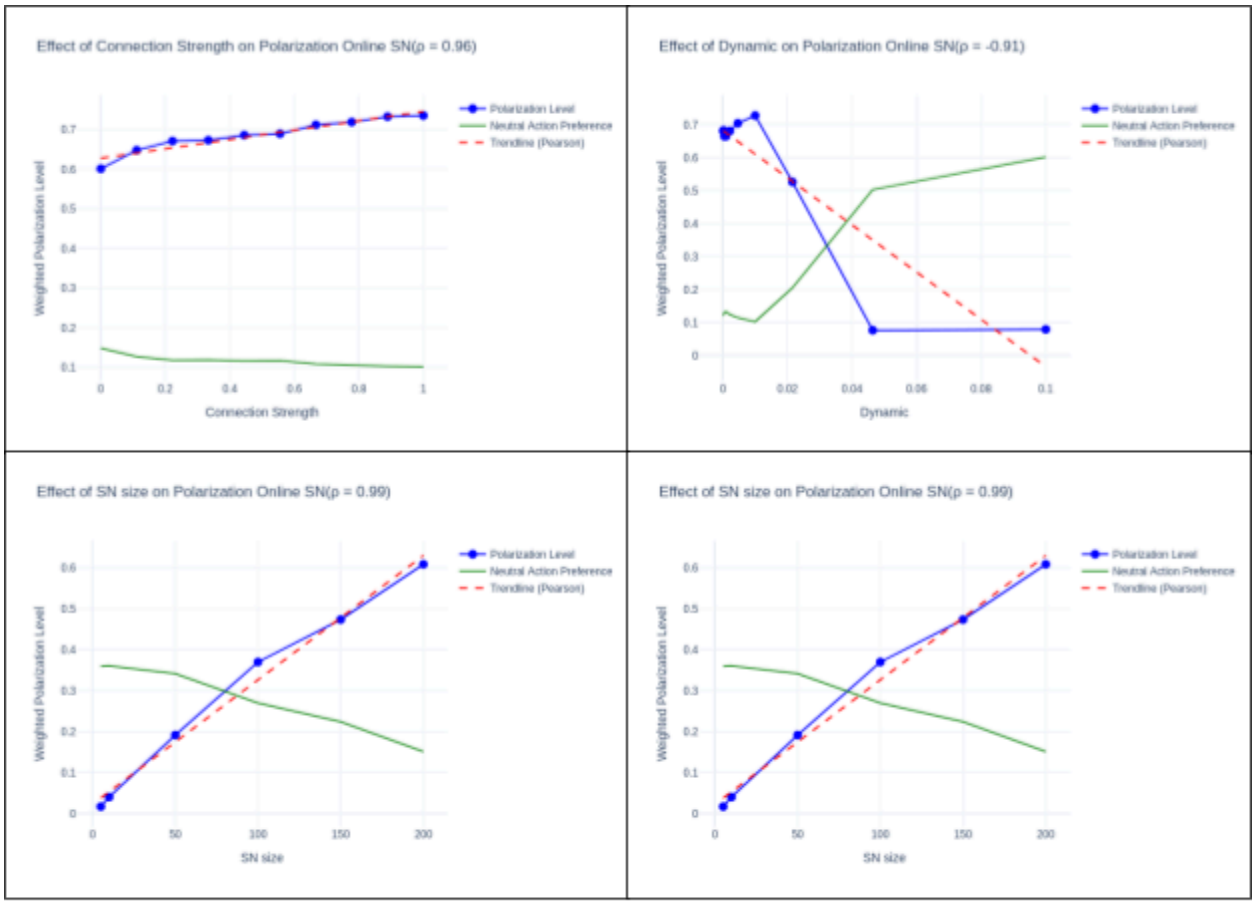
דינמיות (ימין למעלה): דינמיות גבוהה בקשרים פוגעת בפולריזציה ($p = -0.94$). ברמות גבוהות של דינמיות, הקשרים בין הסוכנים משתנים לעיתים תכופות, מה שמקשה על היווצרות התכנסות קבוצתית ברורה ומעודד בחירה בפעולה הנייטרלית.

גודל הרשת (שמאל למטה): הגדלת גודל הרשת משפיעה על הפולריזציה באופן פחות משמעותי ($p = 0.83$), אך ניתן לראות מגמה של עלייה בפולריזציה עד גודל רשת מסוים, ולאחר מכן התייצבות. ברשתות גדולות יותר, ההשפעה היחסית של כל סוכן יורדת, מה שעשוי להסביר את הירידה הזעירה בהשפעה.

משקל הפידבק החברתי (ימין למטה): העלאת משקל הפידבק החברתי מובילה לעלייה משמעותית בפולריזציה (p = 0.99). כאשר הפידבק החברתי מקבל משקל גבוה יותר, סוכנים נוטים לחזק את ההעדפה לפעולה של קבוצתם, והפעולה הנייטרלית מאבדת ממשמעותה.

תוצאות אלו מצביעות על כך שברשתות מסורתיות, היווצרות פולריזציה מושפעת בעיקר מחוזק הקשרים ומהמשקל שניתן לפידבק החברתי. לעומת זאת, דינמיות גבוהה מערערת את המבנה הקבוצתי ופוגעת בפולריזציה. גודל הרשת משפיע בצורה מתונה יותר, עם התייצבות ברמות גבוהות יותר.

מתאם בין מאפייני הרשת להווצרות פולריזציה ברשת חברתית מקוונת:



איור 5: גרפים המתארים קורולציית פירסון בין מאפייני הרשת לבין היווצרות פולריזציה בין שתי קבוצות ברשת מקוונת

חוזק הקשרים (שמאל למעלה): ברשת מקוונת, חוזק הקשרים משפיע חיובית על רמת הפולריזציה (p = 0.96). עם העלאת חוזק הקשרים, הקבוצות מתכנסות לפעולות המזוהות איתן, אך בניגוד לרשת מסורתית, הפעולה הנייטרלית שומרת על נוכחות מתונה לאורך כל הערכים.

דינמיות (ימין למעלה): דינמיות גבוהה בקשרים מפחיתה את רמת הפולריזציה באופן ברור ($p = -0.91$). ככל שהרשת דינמית יותר, הקשרים בין הסוכנים משתנים בתדירות גבוהה, מה שמוביל לפיזור גבוה יותר של ההעדפות ולעלייה בהשפעת הפעולה הנייטרלית.

גודל הרשת (שמאל למטה): בדומה לרשת המסורתית, העלאת גודל הרשת מגבירה את רמת הפולריזציה ($p = 0.99$). עם זאת, בניגוד לרשת מסורתית, השפעת הפעולה הנייטרלית ברשת המקוונת מתמתנת ככל שהרשת גדלה, מה שמעיד על כך שהגודל משפיע גם על הדינמיקה החברתית.

משקל הפידבק החברתי (ימין למטה): ערך גבוה יותר של משקל הפידבק החברתי מגביר את הפולריזציה ($p = 0.99$). עם זאת, הפעולה הנייטרלית שומרת על השפעה יציבה יחסית, מה שמעיד על כך שגם כאשר הפידבק החברתי דומיננטי, ברשת מקוונת קיימת שונות גבוהה יותר בתגובות הסוכנים.

ברשתות מקוונות, היווצרות פולריזציה מתחזקת בעיקר עם גידול בחוזק הקשרים ובגודל הרשת, בעוד שדינמיות גבוהה מפחיתה את רמת הפולריזציה באופן משמעותי עד להיעלמותה כמעט לחלוטין. המשקל שניתן לפידבק החברתי משפיע גם הוא באופן חיובי על הפולריזציה, אך באופן מתון יחסית.

נראה כי בשתי הרשתות, השפעת הפרמטרים המבניים של הרשת משפיעים באופן ישיר על היווצרות (או היעלמות) של פולריזציה. באופן מפתיע ניתן לראות כי רמת הפולריזציה ברשתות מסורתיות לאחר שינויי הפרמטרים גבוהה יותר מזו שברשתות המקוונת. הסבר אפשרי לתופעה זו הוא החוזק המבני שברשת המסורתית יוצר התבצרות קבוצתית משמעותית יותר וחיץ עמוק יותר בין הקבוצות.

דיון

התוצאות המתקבלות מהסימולציות מצביעות על כך שלכל פרמטר השפעה ייחודית על הדינמיקה הקבוצתית, כאשר השפעתו תלויה לא רק בערכו אלא גם במבנה הרשת החברתית ובאינטראקציה עם פרמטרים אחרים. ברשתות מסורתיות, פרמטרים כמו חוזק הקשרים והמשקל החברתי בולטים בתרומתם ליצירת קונצנזוס ולחיזוק הפולריזציה, בשל היציבות המבנית והמשמעות הגבוהה של פידבק בין חברי הקבוצה. לעומת זאת, ברשתות מקוונות, האופי הדינמי של הקשרים מאפשר גמישות גבוהה יותר, אך גם מצריך איזון עדין בין הפרמטרים לשמירה על יציבות וקונצנזוס. תוצאה זו מדגישה כיצד הבדלים מבניים ודינמיים בין סוגי הרשתות משפיעים באופן שונה על הדינמיקה הקבוצתית.

מעבר לניתוח השפעת הפרמטרים על יצירת קונצנזוס או פולריזציה, העבודה מדגישה את הפוטנציאל של המודל לזהות קונפיגורציות רשת המובילות למצבים קיצוניים כמו התבצרות בעמדות. בכך נפתחת הדלת למחקר עתידי שבוחן כיצד ניתן לעצב מבנים קבוצתיים או מנגנוני פידבק המקדמים גישור במקום קיטוב. לדוגמה, ההשפעה של פעולה ניטרלית על הפחתת הפערים בין הקבוצות עשויה לשמש כבסיס לפיתוח אסטרטגיות גישור (בהנחה כי פעולה זו קיימת). בסימולציות ניכר כי לפעולה ניטרלית יש פוטנציאל משמעותי לעודד אינטראקציות חיוביות בין קבוצות, במיוחד בתנאים של קשרים חזקים בתוך קבוצה וקשרים חלשים בין קבוצות. באמצעות חקירה נוספת ניתן יהיה לבחון את הגודל המיטבי של הפעולה הנייטרלית ואת התנאים שבהם היא אפקטיבית ביותר.

לבסוף, המודל בו נעשה שימוש בעבודה מציע יתרון בכך שהוא משלב רכיבים רגשיים וקוגניטיביים בלמידת הסוכנים. תכונה זו מאפשרת לחקור את ההשפעה של אלמנטים רגשיים, כמו עידוד או נטרול מתחים בין קבוצות, על הדינמיקה הקבוצתית. מחקר עתידי יכול לנצל את הפן הזה על מנת לפתח גישות למידול דינמיקות חברתיות מורכבות יותר, כמו יצירת אמון בין קבוצות יריבות או עידוד סובלנות במצבים של קונפליקט.

בעבודה זו נבחנו קבוצות ודינמקות פשוטות כבסיס לעתיד בו ניתן יהיה לבחון מספר קבוצות ומצבים גדול יותר המאפיינים באופן מדויק יותר את הרשתות הקיימות בעולמנו. באופן זה, המודל לא רק יאפשר להבין תהליכים חברתיים, אלא גם עשוי לתרום לפיתוח כלים ושיטות לשיפור אינטראקציות חברתיות ברשתות שונות.

מקורות

Babitz, D., & Eldar, E. (2024). *How Social Norms Emerge: The Interindividual Actor-Critic*. The Edmond & Lily Safra Center for Brain Sciences, Hebrew University of Jerusalem.

DeGroot, M. H. (1974). Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association, 69*(345), 118–121.

Grabowicz, P. A., Ramasco, J. J., Moro, E., Pujol, J. M., & Eguiluz, V. M. (2012). Social features of online networks: The strength of intermediary ties in online social media. *PLoS ONE, 7*(1), e29358. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029358

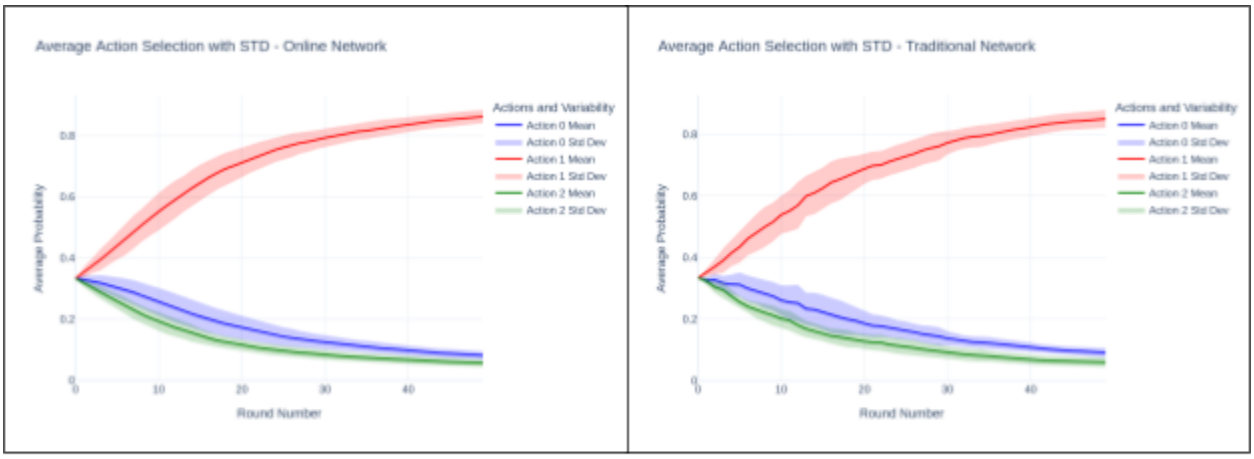
Lieberman, A., & Schroeder, J. (2019). Two social lives: How differences between online and offline interaction influence social outcomes. *Current Opinion in Psychology, 31*, 16–21.

Mavrodiev, P., Tessone, C. J., & Schweitzer, F. (2013). Quantifying the effects of social influence. *Scientific Reports, 3*, 1360. https://doi.org/10.1038/srep01360.

Zhou, W. X., Sornette, D., Hill, R. A., & Dunbar, R. I. M. (2011). Discrete hierarchical organization of social group sizes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278*(1705), 439–444.

נספחים

פרק זה מציג תוצאות נוספות שעלו במהלך העבודה, שלא נדונו בהרחבה אך עשויות להיות רלוונטיות למחקר עתידי.

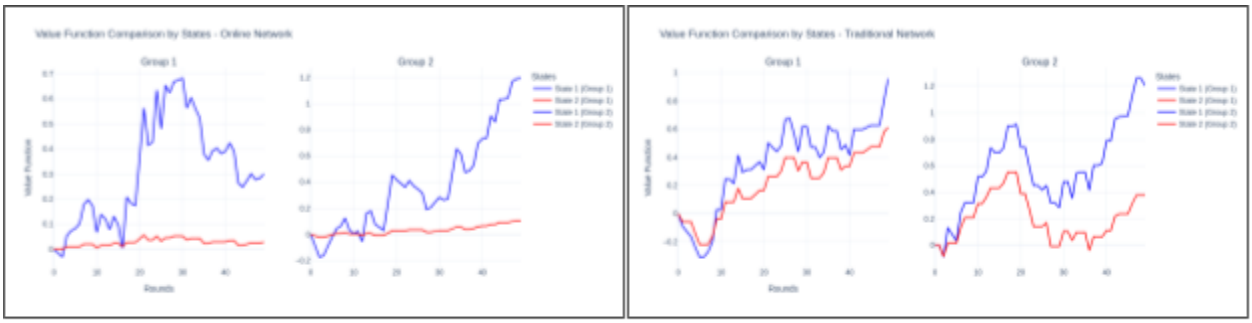


איור 6: גרף השוואת סטיות תקן בין הרשתות לאורך הסימולציה מחולק לפי העדפות פעולה. ניתן לראות כי סטיית התקן קטנה ככל שהסימולציות מתקדמות.

איור 6 מציג את סטיות התקן של העדפות הפעולה לאורך הסבבים, תוך השוואה בין רשת מקוונת (משמאל) לרשת מסורתית (מימין). מטרת הבדיקה היא לבחון את גיוון הדעות בתוך הרשת במהלך תהליך הלמידה: האם כל הסוכנים מתכנסים לאותה העדפת פעולה או שקיימת שונות גדולה בתוך הקבוצה, כאשר רק הממוצע מתכנס לאורך הזמן.

איור 7: השוואה בין רשת מקוונת (משמאל) לרשת מסורתית (מימין) בהערכת המצבים (2 מצבים)

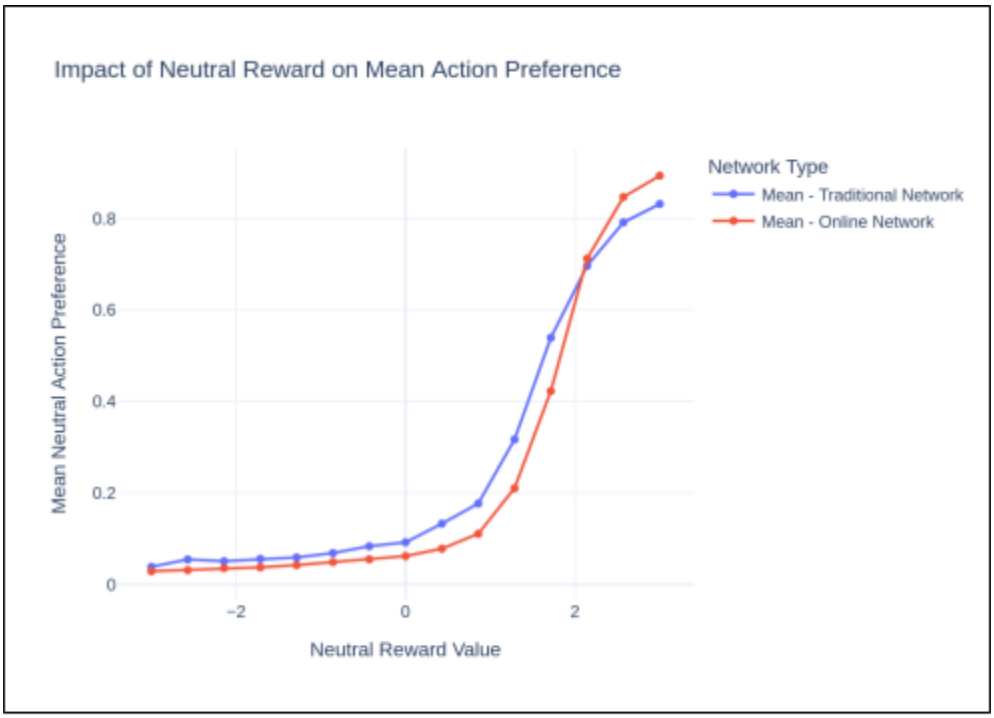
איור 7 מציג את הערכים הממוצעים של שני מצבים (State 0 ו-State 1) לאורך הסבבים, תוך השוואה בין רשת מקוונת (משמאל) לרשת מסורתית (מימין). מטרת הבדיקה היא לבחון את ההבדלים בין הרשתות במהלך הלמידה, בהערכת ערכי המצבים לאורך הזמן.



איור 8: הערכת מצבים לפי קבוצות ברשת חברתית מסורתית

הערכת מצבים לפי קבוצות ברשת חברתית מקוונת

איור 8 מציג את הערכת ערכי המצבים לפי קבוצות שונות (קבוצה 1 וקבוצה 2) ברשת מקוונת (משמאל) וברשת מסורתית (מימין). מטרת הבדיקה היא להשוות בין הקבוצות בתוך כל רשת במהלך הלמידה, ולבחון האם יש הבדלים באופן שבו הקבוצות מעריכות את המצבים לאורך הזמן.



איור 9: השוואת השפעת גודל הגמול מהפעולה הנייטרלית על בחירה בה בין הרשתות כאפשרות גישור בין קבוצות

איור 9 מציג את השפעת גודל הגמול מהפעולה הנייטרלית על ההעדפה הממוצעת לבחירה בה, תוך השוואה בין רשת מסורתית (בכחול) לרשת מקוונת (באדום) לאחר 50 סיבובי למידה. מטרת הבדיקה היא לבחון באיזה גודל גמול נייטרלי הרשתות מעדיפות את הפעולה הנייטרלית, בהקשר של צמצום קיטוב חברתי על ידי יצירת אפשרות מוסכמת בין הקבוצות.