המאמר היומי של מייק: 04.07.25

Investigating Tax Evasion Emergence Using Dual Large Language Model and Deep Reinforcement Learning Powered Agent-based Simulation

תפנית מפתיעה מתרחשת בשימוש ב-LLMs בתחומים "רכים" יותר כמו פסיכולוגיה, סוציולוגיה ואפילו כלכלה. אומנם LLMs לא "חושבים" כמו בני אדם ברמת האינדיבידואל, אבל מסתבר שהם כבר מחכים את איך שאנחנו מקבלים החלטות כאוכלוסיה.

המאמר הנוכחי מציג גישה חדשנית לשימוש ב LLMs לחקר התחמקות ממס בעזרת סימולציה. במקום להניח מראש התנהגות של העלמת מס, כמו שעשו כל המחקרים עד היום, המחקר מתמקד בהופעה ובדינמיקה של תופעה זו בקרב אוכלוסייה. באמצעות סימולציה מבוססת סוכנים (agent-based simulation) המשלבת LLMs ולמידה עמוקה עם חיזוקים (deep reinforcement learning), החוקרים בונים מודל המאפשר להתנהגויות כלכליות בלתי פורמליות (מה שהרב מכירים בתור "כלכלה שחורה") להגיח באופן ספונטני, ולא כהתנהגות מוגדרת מראש. על אף התרומה שלו לכלכלה, מה שלכנראה מעניין אותנו זה השימוש הייחודי ב LLMs וב DRL כשילוב של מנגנון שיודע לקחת מידע לא פורמלי (כמו תיאור אישיות) ולהכניס אותו לסט השיקולים הפורמלי של סוכן - למשל כמה אופציות של פרסונליזציה במערכות אפשר לעשות על גבי הרעיון הזה.

השיטה במאמר מתעמקת ביצירת סימולציה מבוססת סוכנים המדמה כלכלה סגורה (יש מסחר בין אנשים באוכלוסיה שמנסה להטייב עם מצבם), שבה סוכנים פועלים ומקבלים החלטות. החוקרים השתמשו במבנה כלכלה דומה לזאת של ארצות הברית עם דיווח מס עצמי כדי לאפשר לסוכנים הזדמנות להעלים מס כהחלטה. מכיוון שיש המון סוגים של מס וזה מסתבך מהר (תשאלו את רואה החשבון שלכם) במאמר הזה התרכזו בשני סוגי מס - מס הכנסה ומס ערך מוסף (מע"מ).

הם גם סימלצו רשויות החוק ותועלת שהסוכנים מקבלים מהמדינה מהמס שהם משלמים לה. הסימולציה עצמה מהווה תשתית לחלק המרכזי של העבודה - מודל קבלת החלטות של הסוכנים באוכלוסיה. כדי לייצר אוכלוסיה הטרוגנית, מוח של סוכן מורכב משילוב של LLM ו DRL כאשר LLMs שמקבלים תיאור של האופי של הסוכן (מבוסס על התוכן שהוא מפרסם בטוויטר למשל), היסטוריית הפעולות כטקסט, ואת כל המידע על הסימולציה כטקסט גם כן.

יחד עם ה-context prompt הזה ה LLM נשאל "כמה מס אני צריך לשלם?". המספר שה LLM מחזיר, מועבר כקלט למודל DRL שמקבל גם את שאר הדאטה שקיבל ה LLM אבל גם כמה הסוכן "הרפתקני" כפרמטר שה-DRL משתמש כדי לעשות אקספלורציה. כלומר, ה LLM מחזיר החלטה ראשונית שאותה, יחד עם הלקט של ה LLM ועוד משתנה exploration (אהבת סיכון במובן הכלכלי) מקבל גם DRL שמקבל החלטה בעצמו שהינה גם הסופית.

תהליך הלמידה הזה מאפשר להתנהגויות של העלמת מס ולפעילויות כלכליות בלתי פורמליות "להגיח" באופן טבעי מתוך האינטראקציות בין הסוכנים, במקום להיות מוגדרות מראש ככללים קשיחים. מה גם, שאפשר לראות שינוי משמעותי בהתנהגות הרציונלית (DRL) על ידי שינוי מספיק אגרסיבי של הפלט של ה LLM בעזרת שינוים כמו תיאור האופי של הסוכן.

גם אם אתם לא חובבי כלכלה גדולים, השיטה הזאת של שילוב בין LLM ל DRL בצורה שLLM משרת את ה DRL ולא הפוך (כמו שקורה באימון conversational LLMs או שאתם בוחרים איזו תשובה יותר אהבתם של chatGPT) פותחת את הדלת לכל מיני שימושים אפליקטיבים שלא היו כל כך נגישים לפני זה, כמו:

במקום רק לחזות תוצאות בחירות, אפשר לדמות איך דעות מתפשטות, איך קבוצות חברתיות נוצרות או מתפרקות, או איך מתפתחת קיצוניות – לא מתוך כללי ברור אלא מאינטראקציות אנושיות מורכבות. אפשר לבדוק איך קמפיין מסוים או חוק חדש ישפיע על התנהגות אזרחים.

איך שינוי בנתיב תחבורה ציבורית או בניית שכונה חדשה תשפיע על דפוסי נסיעה, פקקים, או אפילו על פיתוח עסקים באזורים שונים, בגלל ההחלטות הדינמיות של תושבים ונהגים.

איך חברות מגיבות למהלכים של מתחרים? האם הן מתכנסות לקראת קרטל או נכנסות למלחמת מחירים? אפשר לדמות את השוק עם חברות "חכמות" שמקבלות החלטות אסטרטגיות ולראות מהן ההתנהגויות העסקיות המגיחות.

בקיצור, זה לא רק על העלמת מס. זו דרך חדשה ויעילה לבנות מודלים לכל מערכת מורכבת שבה ההתנהגות הכוללת היא יותר מסכום חלקיה, ומושפעת מהחלטות דינמיות ולמידה של הפרטים בתוכה. זה נותן לנו יכולת "לשחק" עם המציאות, לבדוק תרחישים וללמוד מהם, בלי הצורך לתכנת מראש כל פרט.

לא מאמר קלאסי ממה שעולה פה בסקירה בדרך כלל, אבל יכול לפתוח את הראש:

https://arxiv.org/abs/2501.18177