

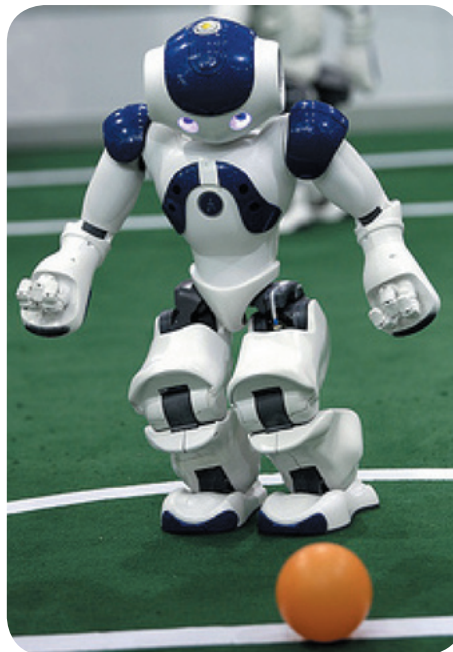
אני, רובוט, איש צוות

כיצד יוכלו רובוטים שאינם מכירים זה את זה לשתף פעולה? פיטר סטון מאוניברסיטת טקסס באוסטין וחוקרים ישראלים עובדים על התשובה

סאת איתן קריין

להתמודד עם המציאות. עליה להביא בחשבון גם את המגבלות הפיזיות של הרובוט, ובייחוד את קלט החישה שעל פיו היא מקבלת החלטות. אבל סטון מרחיק לכת עוד יותר ובודק כיצד לבנות מערכות רובוטיות רבות-משתתפים (multi-agent systems - MAS) שבהן רובוטים שונים מקיימים יחסי גומלין זה עם זה, לומדים יחד מצבים חדשים ומתפקדים ביעילות כצוות.

כדורגל, רובוטיקה וישראל הם נושאים משולבים בחייו של סטון. בחיידק הכדורגל נדבק בנעוריו עת שהה בישראל עם משפחתו. כשחזר לארה"ב המשיך לשחק כדורגל כתחביב. ואז, ב-1994, פגש בכנס מדעי חוקרים מקולומביה הבריטית שהדגישו שני רובוטים המשחקים כדורגל זה מול זה. "זה לא באמת כדורגל", חשב לעצמו סטון והחליט להקדיש את עבודת הדוקטורט שלו לבניית משחק צוות



רובוט כדורגל בפעולה: האם נבחרת רובוטים תצליח לנצח את אלופת העולם בכדורגל ב-2050?

באמצעות שילוב של שני תחומים במדעי המחשב: למידת מכונה ומערכות רבות-משתתפים. כך גם הכיר סטון את ליגת RoboCup שבה מתחרות נבחרות רובוטים על גביע העולם בכדורגל במטרה לנצח את הנבחרת שתזכה באליפות העולם ב-2050.

מדוע כדורגל דווקא? ראשית מפני שזה באמת משחק בין-לאומי המשלב משחק קבוצתי ויכולת אישית. אבל גם מבחינת מדעי המחשב יש לכדורגל יתרון. שלא כמו משחקי כדור אחרים, דוגמת כדורסל וכדורעף, כדורגל הוא משחק כמעט דו-ממדי. והאם באמת יצליחו לנצח את אלופת העולם? הבעיה העיקרית היא בעיקר בהנדסת הרובוטים, כאן אנו ממש רחוקים מלהתחרות בכני אדם. אבל, "70 שנה לאחר הטיסה הראשונה של האחים רייט הגענו לירח, 50 שנה לאחר גילוי הדנ"א נקבע רצף הגנום האנושי, כך שנראה ש-60 שנה לאחר ייסוד ליגת RoboCup יהיה אפשר, אולי, להגיע לכך", מקווה סטון.

עת בין-ערביים קרירה בירושלים, החלוץ בצהוב-שחור חוטף את הכדור, פורץ לאגף, מגביה לרחבה ו... גול! לא, לא, בית"ר ירושלים לא הבקיעה שער ואצטדיון "טדי" בכירה לא פרץ בשאגות, שחקני הכדורגל שמול עיני הם עיגולים קטנים המתרוצצים על מסך המחשב של פרופסור פיטר סטון מן המחלקה למדעי המחשב באוניברסיטת טקסס באוסטין. כל שחקן על המגרש נשלט על ידי תוכנה נפרדת ועצמאית שמחליטה על מהלכי "השחקן", מסביר סטון השוהה בישראל במלגת תכנית פולברייט, הניתנת לחוקרים מצטיינים בתחומם מישראל ומארה"ב, ומנוהלת על ידי קרן חינוך ארצות הברית-ישראל. אבל סטון שואף ליותר מכך. הוא מעוניין להביא את האינטליגנציה המלאכותית (AI) הכרוכה במשחק כדורגל, או בפעילות אנושית אחרת, ממסך המחשב

אל כר הדשא של המציאות האמיתית. ואכן, בעוד שההדמיה על המסך נראית מציאותית למדי, הסרטונים הבאים שהראה לי סטון, ובהם נראים רובוטים משחקים כדורגל, הדגישו עד כמה המשימה עדיין קשה. גם עם התוכנות מקבלות החלטות נכונות, הרובוטים, על מגוון צורותיהם, מתקשים לעתים לבצע את הפעולות הפשוטות ביותר. השוער, דמוי הכלבלב, מבקיע לעתים את השער שלו, והרובוטים ההולכים על שתיים נוטים למעור ולפול. על אף שהדברים נראים מגושמים, ההתקדמות בשטח המחקר הזה רבה, אומר סטון ומדגים את דבריו בסרטונים המראים שרק לפני כמה שנים נראו הרובוטים מגושמים הרבה יותר.

תחום המחקר של פיטר סטון, המשלב יחד אינטליגנציה מלאכותית ורובוטיקה, מתמודד עם אתגרים מרתקים. יש חוקרים העוסקים באינטליגנציה מלאכותית באמצעות תוכנה בלבד, אבל הם מתעלמים מן העובדה שתוכנה המותקנת ברובוט חייבת



פרופסור פיטר סטון: מנסה ללמד רובוטים לשתף פעולה זה עם זה

מתוצרת אחרת. סטון מראה לי הדמיה ובה מאות מכוניות חוצות צומת לא-מרומזר של שני כבישים רבי-מסלולים בלי להתנגש. כל מכונית מודיעה למחשב המרכזי שהיא מתקרבת לצומת והמחשב מקצה לה נתיב שמור. המכוניות המעטות שלא קיבלו נתיב כזה, ממתירות לתורן בנתיב מיוחד.

אבל גם כאן סטון אינו מסתפק בהדמיות תוכנה: יחד עם עמיתיו בצוות "טקסס רובוט טכנולוגי" הוא השתתף עם רכב האיסוזו הרובוטי העצמאי "מרוויין" בתחרות

"האתגר האורבני" של הסוכנות האמריקנית למחקר מדעי מתקדם (DARPA) ב-2007. בסרטונים שהראה לי סטון נראה הרכב כשהוא מגיע לצומת, נותן זכות קדימה למכוניות שהגיעו לפניו, אבל נוטל לעצמו את זכות הקדימה ופונה שמאלה באופן מושלם, לא לפני שווידא שהנהג מולו אינו מתכוון להתפרץ. "האם אתה בוטח במכונית כזו?" אני שואל, ופרופסור סטון מזכיר לי שבטיסה מסחרית רגילה שולט רוב הזמן טייס אוטומטי.

"מה זאת בכלל אינטליגנציה?" שאלתי את סטון. "יש הגדרה פנומולוגית", הוא השיב. "אם זה עושה דברים שנחשבים אינטליגנטיים אז יש לזה אינטליגנציה. פעם חשבו שמחשב שיוכל לנצח אדם בשחמט יהיה אינטליגנטי. היום יש מחשב כזה ואין הסכמה שהוא באמת אינטליגנטי. כך שהגדרה חמקמקה." נראה שסטון צועד בכיוון זה צעד אחר צעד - ליצור מחשבים שמסוגלים לעשות דברים חדשים שלא היו מסוגלים לעשות עד כה, תוך שילוב אמצעי חישה.

לסיום אני שואל לדעתו של סטון אם עולם רובוטי כזה לא עלול להשתלט על חיינו כמו שהשתלט המחשב HAL על החללית בספרו של ארתור סי קלארק "2001: אודיסאה בחלל". "השאלה האתית אכן מתחילה להתעורר, ואין ספק שבעתיד מערכת החוק תהיה חייבת להיכנס לזה", אומר סטון. אסימוב ייחד לנושא מחשבה עמוקה בעבר, אבל נראה שאנו הולכים ומתקרבים לקראת היום שבו יצא הנושא מדפי המדע הבדיוני.

ד"ר איתן קריין הוא העורך המדעי-תפעולי של סיינטיפיק אמריקן ישראל ועומד בראש תכנית תרבות-מדע בחמד"ע - המרכז לחינוך מדעי בתל אביב.

כדורגל הוא רק דוגמה בעלת חוקים מוגדרים לרובוטים הפועלים בצוות. אבל גם בעולם האמיתי צופה סטון לראות רובוטים בקרוב: מכוניות ללא-נהג, רובוטים ביתיים שיבצעו בשבילנו את מטלות היום-יום, ומערכות חילוץ והצלה רובוטיות שיוכלו לפעול באזורי אסון שבהם מסוכן מדי להכניס בני אדם.

במצבים כאלה ייפגשו זה עם זה רובוטים שלא נפגשו קודם לכן, ובכל זאת יצטרכו לעבוד כצוות ולא להפריע זה לזה. התחום החדש והמרתק הזה הוא שהביא את סטון לישראל. "זהו תחום חדש באינטליגנציה מלאכותית, המשלב תיאוריות של בחירה חברתית (social choice theory) עם תורת המשחקים. יחד עם פרופסור גל קמינקא מן המחלקה למדעי המחשב באוניברסיטת בר-אילן, שהוא אחד המובילים בישראל בתחום האינטליגנציה המלאכותית, מתכנן סטון רובוט שהוא "איש צוות טוב" המסוגל להתמודד עם רובוטים טובים ממנו או נחותים ממנו. כמו אדם שפוגש אדם אחר שאינו דובר בשפתו, ובכל זאת הם צריכים לבצע עבודה משותפת, גם הרובוט לא יכול להשפיע באופן ישיר על הרובוט הזר, כי אין הוא יכול לתקשר אתו והוא אינו מכיר את התוכנה שלו. הרובוט, כמו אדם במצבו, יכול לשלוט אך ורק בפעולותיו שלו. הוא יצטרך אפוא להחליט אילו פעולות יגרמו לרובוט הזר לשתף פעולה. בינתיים בוחנים סטון וקמינקא מערכות של "אחד על אחד". המחקר המשותף שלהם, אומר קמינקא, "יאפשר לרובוטים שאינם יודעים לתקשר זה עם זה, ושלא נפגשו קודם לכן, לשתף פעולה באופן מיטבי".

שותפיו הישראלים האחרים עובדים עם סטון על ההחלטות החברתיות שהרובוטים חייבים לקבל. "במצבים אמיתיים הרובוטים חייבים להגיב לכל מה שקורה ולא רק להסתפק כמה שהגיבני לעשות", אומר סטון. ובישראל יש מומחים לנושאים האלה, כמו פרופסור ג'פרי רוזנשיין, ראש קבוצת המחקר למערכות רבות-משתתפים באוניברסיטה העברית בירושלים, פרופסור שרית קראוס וד"ר דוד סרנה, שניהם מן המחלקה למדעי המחשב באוניברסיטת בר אילן. נעשתה בישראל עבודה רבה בנושאים תיאורטיים כגון החלטות חברתיות, הצבעה במערכות רבות משתתפים, תוכנות המסוגלות להשקיע בבורסה. "אני הבאתי את הניסיון שלי בלמידת מכונה", אומר סטון. הוא מקווה לייסד כאן אפיק מחקר שיתמקד בשאלה מה מאפיין "חבר צוות טוב" ויתבסס על המומחיות המשותפת של החוקרים. "זאת הסיבה האקדמית לשהותי כאן, אבל גם רציתי שילדיי יזכו להכיר טוב יותר את ישראל, כפי שאני זכיתי להכירה בנעורי", אומר סטון בעברית.

דוגמה לרובוט שהוא "איש צוות טוב" היא המכונית הרובוטית, עוד נושא המעסיק את סטון. בעולם עתידי שבו המכוניות יתנהלו בעצמן תצטרך המכונית הרובוטית לפעול מול רובוטים אחרים שלא נתקלה בהם קודם לכן, כלומר מול מכוניות רובוטיות אחרות