



5 מסלולים

המובילים אל

הרובוט

דמוי-האדם הראשון

שהולך על שתיים,
מדבר וגם אופה עוגות

מאת גרגורי מון איורים: פטר בולינגר



בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכלל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



הוא עושה את דרכו אלינו מן המטבח, בתנועה חלקה ומבלי להשמיע רעש. בעוד אני מוריד מעלי את תיק הגב שלי ותולה בחברי ג'ק מבט שואל, הוא מטופף ברוב חן אל תוך המבואה. אני חש במבטו של ג'ק העוקב מזווית עינו אחר תגובתי לרכישה האחרונה שלו, שבדיוק נעמדת לצידו על שתי רגליים מכניות דקיקות ומשלבת שתי ידיים בנות ארבע אצבעות מאחורי הגב. קומתו קטנה משל בן אנוש ממוצע, תנועתו קלה והוא אינו משרה בנוכחותו כל אווירה של איום. למען האמת, אני משוכנע למדי שבכוחי לנצח אותו בקרב מכות. תווי פניו אינם בדיוק אנושיים, אולם הם לא נטולי חיות לגמרי. וכמו כן, כמו כל משרת ראוי לשמו – איך לנסח זאת? – הוא יודע לקוד קידה בהכנעה.

היכונו לרובוט המשרת הראשון. הוא בשלבי פיתוח מתקדמים, איבר אחר איבר, במעבדות אוניברסיטאיות ובמכוני מחקר ממשלתיים שונים בכל רחבי העולם. חלק מהמדענים אמונים על עיצוב אצבעות ארוכות וגמישות, מדענים אחרים מרכזים את מאמציהם בייצור עור מלאכותי שיהיה רגיש ומחוספס די הצורך. צוותי מחקר ביפן ובגרמניה, באוניברסיטת קורנל ובקולג' אולין הצנוע אשר שוכן בנידהאם, מסצ'וסטס, מנסים לפתור את הבעיה הסבוכה הכרוכה בבניית רובוט המסוגל להלך על שתי רגליו כמו שצריך כאחד האדם. ועוד לא הזכרנו את הבעיות הקשורות בבניית מוח הרובוט, שיקנה לו את הבינה המלאכותית הדרושה להנעה מושכלת של הגפיים והאצבעות, לתקשר עם בני המשפחה ואנשים זרים, ומעל לכל, לאפות עוגה ערבה לחיך.

אמנם נכון, עילית הרובוטיקנים טרודים כעת בעניינים בוערים יותר מאשר שוק הרובוטים למשק הבית. כך למשל אנדי רואינה, מהנדס בקורנל, בונה רובוטים מהלכים מתוך מטרה להעמיק את הבנתו בנושא יכולת התנועה האנושית כך שנוכל להמציא דרכים לסייע לאנשים קשישים שרגליהם מתחילות לבגוד בהם. אחרים, ובהם מדען המחשב ג'יימס קופנר מאוניברסיטת קרנגי מלון והמהנדס גיל פראט מקולג' אולין, משוכנעים שמגוון המאמצים השונים הנעשים היום יהפכו בבוא היום לפלטפורמה אחת – מכונה, לדברי פראט, אשר תכסח את הדשא ותפטור מאיתנו את כאב הראש של מטלות הבית השונות: רוזי הרובוט לשירותנו.

השלמת פיתוחו של רובוט דמוי-אדם, שביכולתו לבצע קשת רחבה של מטלות, מותנית בפריצת דרך בחמישה תחומי מפתח: אינטראקציה, יכולת תנועה, ניווט במרחב, פעולה בידיים ובינה. למרבה השמחה, כל אחד מן התחומים הללו ידע בשנים האחרונות התקדמות עצומה והניב שפע רב של מחקרים ופיתוחים.

מסלול 1: אינטראקציה

הרובוט – שג'ק, לא במקוריות רבה, העניק לו את השם גייבס – מישיר אליי מבט ומברך אותי בברכת שלום. פרץ של קנאה מונע ממני מלהשיב לו כפי שמחייב הנימוס. שמעתי רבות אודות הרובוטים החדשים האלה, אבל מצבי הכלכלי פשוט אינו מאפשר לי לרכוש לעצמי אחד כזה. "תכיר, זה גרג", מתערב ג'ק. "הוא חבר שלי." "נעים מאוד, גרג", מברך אותי גייבס בקולו השקט והנעים. "התרצה שאקח ממך את התיק שלך? הוא נראה כבד." אני חוכך בהצעתו. "בטח. ואם

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה



אל דאגה. לדעת כל המומחים, הרובוטים העתידיים יהיו הרבה יותר חברותיים. קולין אנגיל, מנכ"ל חברת iRobot היושבת בברלינגטון, מסצ'וסטס, מדווח כי 60 אחוז מבין צרכני החברה שרכשו את שואב האבק מדגם "רומבה", פיתחו מידה כזו של קרבה כלפי המכשירים שלהם, עד כי העניקו להם שמות פרטיים כאילו היו בני אדם (גיבס ורוזי, שלא במפתיע, הם השמות הנפוצים ביותר). ובאשר למכוונות מתקדמות יותר, מחקרים הנערכים בתחום הבתולי של אינטראקציות בין אדם לרובוט, מראים כי הפגנת מחוות חברתיות זוטרות לכאורה מגדילה לאין שיעור את תחושת הנינוחות של האנשים כאשר הם באים במגע עם רובוט. הרמת גבה או טלטול ראש יכולים לתרום רבות בהענקת מגע אנושי להומנואיד העתידי. ומאחר ואנו נהיים חשדניים ביותר כאשר מישהו מתחמק ממבטנו, הרובוטים יצטרכו להישיר אלינו מבט.

לא יהיו אלה סתם מבטים חלולים. כאשר הרובוט-משרת ייתקל בפרצוף חדש, יסרוק אותו במלואו, לרבות את גוון העור ותווי פנים בולטים, וישווה את המאפיינים החזותיים מול ספרייה דיגיטלית של פרצופים שתהיה מאוחסנת בזיכרונו. כך יוכל לדעת הרובוט אם אלה פנים מוכרות של מישהו שכבר פגש בעבר. אם במקרה מדובר באדם זר בו הוא פוגש לראשונה, הוא ישאל לשמו ויאחסן את המידע בזיכרונו כך שבפעם הבאה יוכל לברכו ביתר ידידות.

הרטוויג הולצאפפל, מדען מחשב ובלשן מאוניברסיטת קרלסוהה שבגרמניה, כבר עתה שוקד במלוא המרץ על מלאכת פיתוח התפקודים האינטראקטיביים הבסיסיים ברובוט הקרוי ארמר-3. לדבריו, האתגר הגדול הוא העומד בפנינו הוא יצירת רובוט אשר כשיר לקבל מפינו פקודות ישירות. קרוב לוודאי כי הליך התרגום יכלול ראשית מערכת של זיהוי-קול שבאמצעותה יפענח הרובוט את מילות הבקשה. לאחר מכן יחפש הרובוט התאמה בספרייה של ביטויים שתהיה מאוכסנת בזיכרונו. אם הביטוי יהיה מעורפל מדי ולא תימצא התאמה ודאית, יבקש מאיתנו הרובוט הבהרות נוספות או יעקם את פניו לאות אי הבנה. לבסוף, לאחר שהדובר ינסח את כוונתו ביתר בהירות ותימצא התאמה ודאית, תופעל סדרה של אלגוריתמים שתוביל את הרובוט בסופו של דבר אל המקרר, נניח.

עם זאת, יש מדענים שאינם מסתפקים ברמה כזו של אינטראקטיביות. דב רוי, העוסק במדעים קוגניטיביים, והצוות העובד תחתיו במעבדת הטכנולוגיה באוניברסיטת מסצ'וסטס, מאמנים את הרובוט שלהם, העונה לשם טריסק, לייחס למילים משמעות הנטועה בחוויה. כך למשל, במקום לתכנת לתוך מוחו של טריסק את משמעות המילה "משקל", הם גרמו לו להרים חפצים שונים כדי לחוש את ההבדל היחסי במשקלם. העבודה של רוי עשויה בסופו של דבר להניב רובוטים שמבינים את משמעות דבריהם – לא משום שהגדרה תוכנתה לתוך המעבד שלהם, אלא משום שהם מסוגלים לקשר את המילה עם חוויה קודמת שלהם.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



מסלול 2: יכולת תנועה

לאחר שהפקיד את התיק שלי בארון למשמרת, פונה גיבס לעבר המרתף, שם מחזיק ג'ק מקרר נוסף המיועד למשקאות. "תמחר עם הבירה," אני צועק לעברו של גיבס המתרחק. אני מתחיל ליהנות מכל הקטע הזה של רובוט משרת העושה כרצוני. גיבס מפרש את דבריי מילולית – רובוט מטומטם! – ומחיש את צעדיו לכדי ריצה קלה. הוא פונה אל המטבח ודוהר במורד המדרגות המובילות למרתף, חוטף בקבוק בירה ועולה את המדרגות כאיילה שלוחה.

ההומינואיד הכי ידוע בעולם כיום – הונדה אסימו, הנראה כמו חייל בפלוגות הסער – מסוגל לרוץ, לטפס במדרגות ואפילו לרקוד. מאחר שהוא בנוי בצורה כזו המונעת ממנו ליפול, הוא בטוח למדי. אולם בשל העובדה כי בכל אחד מן המפרקים שלו מותקן מנוע שמושל בכל ניד וזיע של הגפיים, יוצא כי אסימו זולל אנרגיה ברעבתנות. חיי הבטרייה שלו אינם מספיקים ליותר מחצי שעה – הוא ייפול מהרגליים עוד בטרם תסתיים ארוחת הערב החגיגית.

אולם לאחרונה, החלו רובוטיקנים לגשת לבעיית ההליכה על שתיים מזווית אחרת. בשנה שעברה, כמה צוותים העובדים במשותף הציגו לראווה רובוטים המסוגלים ללכת באופן המשוחזר והקליל של בני אדם. במקום לשלוט על כל תנועה בעזרת מנועים ולחשב בקפידה כל צעד וצעד, תנועת הרגליים דומה יותר להיטלטלות הלוך-ושוב של מטוטלת. התוצאה היא רובוטים המהלכים בצורה יעילה וחסכונית באנרגיה הרבה יותר. אולם אליה וקוץ בה, שכן הם הרבה פחות יציבים בהילוכם. אנדי רואינה, מהנדס בקורנל העומד בראש אחד מהצוותים הללו, לא חוסך בביקורת על הרובוט שבנה יחד עם הצוות שלו: "הוא מסוגל לעשות רק דבר אחד – ללכת בקו ישר. הוא אפילו לא מסוגל לקום על שתי רגליו בעצמו."

כדי שההומינואיד יהיה מסוגל לאוץ ברחבי הבית מבלי ליפול, ולסיים את שורת מטלותיו בטרם תתכלה הבטרייה, מדענים עוד צריכים למצוא את השילוב המיטבי בין יציבות לבין יעילות. בעוד יש רובוטיקנים התולים תקוותם בפיתוח עתידי של שרירים מלאכותיים – חומרים שיתכווצו ויתרחבו בתגובה לזרמים חשמליים ופעילות לייזר – אקטואטורים חדישים ומשופרים עשויים לספק פיתרון מיידי יותר. אם מערכות קטנות יותר אשר זוללות פחות אנרגיה יניעו את רגליו של אסימו, הוא לא יאלץ לרוץ למטען הבטרייה בדחיפות שכזו.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



מסלול 3: ניווט

בעוד גייבס חוצה את המטבח ובידו הבירה, כלב המשפחה, טרייר נבחני שטרם הסתגל לנוכחותו של העוזר החדש בבית, החליט לחסום בגופו את פתח המטבח וסירב בכל תוקף לפנות את המעבר. הרובוט, כדי להימנע מעימות, בוחר נתיב יציאה חלופי. הוא סב על עקביו ופונה אל חדר המגורים, תוך שהוא חולף בדרך על פני מחסום שנועד למנוע כניסת ילדים קטנים. אלא שאז הוא נקלע לשדה מוקשים: קוביות משחק וחיות צעצוע שפיזר בכל עבר ילדו בן השנתיים של ג'ק. גייבס נושא במוחו פקודה המחייבת אותו להיעצר בכל אימת שהוא נתקל בבלגן כזה ולאסוף את החפצים – וזאת בנוסף לשאר המטלות שהוא אחראי להן כגון שאיבת אבק, קרצוף הרצפה, איבוק ושטיפת כלים. אולם משימת הבאת הבירה קודמת כעת בחשיבותה לכל השאר. במשנה זהירות הוא מתמרן את דרכו בין כל הצעצועים הפזורים על רצפת חדר המגורים ומגיש את הבירה.

דיון מהותי ניטש בקרב הרובוטיקנים סביב השאלה אם לרובוט-משרת נחוצות בכלל שתי רגליים לביצוע תפקידו, לאור העובדה שכיום אפילו כיסאות גלגלים חדשניים מסוגלים לטפס במדרגות. אולם לזכות הגישה הדו-רגלית עומדים כמה יתרונות ברורים. רובוט בעל גלגלים יאלץ ראשית לפנות את כל המכשולים מדרכו בטרם יוכל להתגלגל הלאה, בעוד רובוט דו-רגלי יוכל פשוט לתמרן ביניהם על קצות אצבעותיו או לדלג מעליהם. כך או כך, בין אם יתגלגל לו על גלגלים ובין אם יהלך לו על שתיים, הכרחי כי הרובוט-משרת העתידי יהיה בעל יכולת התמצאות במרחב. ראשית, שומה יהיה לצייד את הרובוט בחומרה הדרושה לו כדי להבחין במכשולים. יש מדענים הסוברים כי יש לעשות זאת על ידי העמסת חיישנים על הרובוט – ראיית אינפרא-אדום תלת-ממדית המבוססת על סריקת קרני לייזר – אשר יספקו בכל רגע ורגע תמונה מרחבית מפורטת בהיקף של 360 מעלות, שתכלול את צורתו, גודלו ומיקומו של כל חפץ וחפץ בחדר. לעומתם ניצבים הטהרנים, המחזיקים בדעה כי אין לייצר רובוט אשר יעלה ביכולותיו מעל ומעבר לכל אדם. גישה זו, הרווחת יותר ביפן ופחות בארצות הברית, נשענת על עקרונות בעלי נטייה פילוסופית ולפיהם מטרת העל של הרובוטיקה היא לבנות אדם ממוכן. כך למשל, מחנה זה מצדד בבניית רובוט-משרת המהלך על שתי רגליים, אולם הנימוק לכך אינו כי רגליים עדיפות על גלגלים אלא פשוט משום שבני אדם הולכים על שתי רגליים. מבחינתם, השתתת ראייתו המרחבית של רובוט על סורקי לייזר ולא על שתי עיניים כמו אצל האדם, תחטא למאמץ לשכפל את יכולותיו של האדם למכונה. לדידם, יהיה זה פשוט בבחינת מעשה רמייה.

גיימס קופנר, העושה עבודה פורצת דרך בתחום הרובוטים הווירטואליים והממשיים כאחד, ממשיל את תהליך קבלת ההחלטות הדרוש לרובוט לשם ניווט למשחק השח-מט. בכל פעם שיחצה את החדר, יעשה הרובוט שימוש בתוכנה לזיהוי חפצים שתעזור לו לקבוע אילו חפצים ניתן יהיה להיזיז מן הדרך ואילו חפצים קבועים במקומם ויהיה עליו לעקוף אותם – ההבדל הקטן שבין כורסה לספה. כל צעד אפשרי נשקל במונחים של המטרה הסופית: להגיע אל צידו האחר של החדר. הרובוט שוקל מהו הנתיב המשלב בצורה המיטבית בין מהירות, בטיחות ויעילות, ולאחר מכן מתחיל בצעידה במסלול הנבחר. בעודו עושה את דרכו, סורק הרובוט כל העת את סביבתו, לבדוק שמא חל שינוי כלשהו בסידור המרחבי ולוודא כי אכן בחר בנתיב הנכון ביותר.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה



מסלול 4: הפעלת ידיים

בחדר המגורים שואל אותי גיבס אם יש לי בקשות נוספות. "מתי ארוחת הערב מוכנה?" שואל ג'ק. הוא ואשתו מיה, שצפויה לחזור הביתה בזמן הקרוב, ביקשו מגיבס להכין לארוחת הערב את אחת המנות האהובות עליהם – בשר עגל מטוגן ברוטב שום ושמן זית. "בשעה שבע", משיב גיבס. לאחר שאסף בזריזות את הצעצועים שהיו מפוזרים בכל רחבי חדר המגורים, מוציא גיבס מתוך המקרר את המצרכים הדרושים לו להכנת האוכל ומתחיל להתכונן לבישול. בקבוק שמן הזית מונח בארון מעל תנור האפייה. כפות ידיו ואצבעותיו של גיבס, העטויות שכבת עור מלאכותי רגיש למגע, משמשות כמעט כמו זוג עיניים נוסף בעוד הוא מושיט את ידו אל הארון ולופת את צוואר הקבוק.

הפעלת ידיים עצמאית – כלומר, היכולת לאחוז ולמשש חפצים לא מוכרים, מבלי למחוץ אותם או להפיל אותם – זהו נושא של תחום מחקר אשר הולך וצובר תאוצה. במובנים רבים, תחום מחקר זה מוסיף נדבך חשוב לחקר הבינה המלאכותית, בציידו רובוטים בכלים הדרושים להם כדי לבוא במגע עם הסביבה וללמוד להכיר אותה. אולם חשיבותו נוגעת לרמה בסיסית יותר. אנחנו הרי מעוניינים שהרובוט שלנו ישאב אבק, יעמיס כלים לתוך המדית, יפתח דלתות, יקצוץ שום ופטרזיליה בסכין. על מנת שיוכל לעשות כל זאת, יהיו נחוצות לו זוג ידיים.

הרובונאוט של נאסא, המסוגל לבצע עבודות תחזוקה ותיקון על סיפון תחנת החלל הבינלאומית, הוא בעל שתי ידיים דקות, גודלן כשל ידי אדם, אשר מאפשרות לו להפעיל כלים שונים. כמו כן, אשתקד פותחה באוניברסיטה של טוקיו יד שמסוגלת לתפוס כדור הנזרק לכיוונה במהירות של כ-300 קמ"ש. כל אלה מהווים פריצות דרך רבות חשיבות, אולם היבט מכריע הקשור בהפעלת ידיים, כך לפי הרובוטיקנים, הוא חוש המישוש. "כמה שהדבר נשמע מצחיק, העור האנושי הוא חיישן מגע פשוט מעולה", מציין אוליבר ברוק, רובוטיקן באוניברסיטת מסצ'וסטס אמהרסט, שעוסק בפיתוח יד המסוגלת לפתוח דלתות.

באוניברסיטת MIT, עמל אדוארדו טורס-גארה על כוונן אובררו, רובוט בעל זרוע אחת שקצות אצבעותיה וכף ידה מכוסות בשכבת עור מלאכותי שלא זו בלבד יכולה לחוש בכוח המופעל ובעוצמתו אלא גם למפות את המתאר המדויק של הכוח. אם חלילה בקבוק שמן זית יתחיל להחליק מבין אצבעותיו של רובו-שף, שכבת העור המלאכותי תאמר לו מהיכן היא נופלת והדבר יסייע לו להדק את אחיזתו מבעוד מועד.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



מסלול 5: בינה

לאחר שסיים לערוך את השולחן לשלושה סועדים, מכריז ג'יבס כי ארוחת הערב מוכנה. ג'ק, מיה ואני היינו מצויים בעיצומו של דיון משועשע סביב חוקי התנועה החדשים שנחקקו המסדירים את תחבורת השמיים של כלי הרכב המעופפים הפרטיים. בעוד אני מתמקם במושב, מניח ג'יבס על השולחן לפני צלחת מהבילה של אוכל חם. מאחר שחלה בשיחה בין שלושתנו הפוגה קלה, אני מחליט לשאול את ג'יבס לדעתו בנושא שעל הפרק.

עד כמה חכם יהיה הרובוט הביתי, זו סוגיה שהדעות חלוקות סביבה. קיימות שתי אסכולות מרכזיות של בינה מלאכותית – הראשונה דוגלת בלמידה מלמטה-למעלה, והשנייה דוגלת בלמידה מלמעלה-למטה. האסכולה הראשונה חותרת למוח מלאכותי שלומד מן הניסיון ומתפתח בעצמו, וצובר ידע ודעת ככל שהוא מתבגר. על פניו, יש להניח כי רובוט משרת בעל מוח כזה יגבש בסופו של דבר עמדה מוצקה על חוקי תנועה שמימיים.

האסכולה השנייה, ההולכת בכיוון ההפוך, רווחת בעיקר בקרב מעבדות הרובוטיקה בארצות הברית. גישה זו מזכירה הכשרה של עובד במפעל, והיא מושתתת על תכנות סדרה של אלגוריתמים מדוקדקים המנחים מאלף עד תו את הרובוט בכל אחת ואחת מהמטלות שלו. ספק רב אם רובוט משרת המצויד במוח כזה יוכל לגבש דעה בענייני דיומא. רובוט כזה יהיה יותר כמו מחשב אישי, אומר קופנר מאוניברסיטת קרנגי מלון. יש להניח כי בעליו של רובוט כזה ירכוש בתחילה תוכנה מצומצמת יותר שתכלול רק חבילה בסיסית של מטלות משק בית, ועם הזמן ישדרג את התוכנה כפי שאנו נוהגים לעשות במחשב האישי שלנו. אולם במקרה הזה, לא מדובר בתכנת פוטו-שופ אלא, למשל, בהורדת קובץ של צליית תרנגול הודו.

הוויכוח סביב הדרכים השונות לפיתוח אינטליגנציה מלאכותית יוכרע קרוב לוודאי על ידי הצרכנים עצמם. האם הם יעדיפו רובוט שיפצה פה רק לאחר שיפנו אליו תחילה ויתקשר איתנו במחוות מלאכותיות בלבד? או שהם ירצו שהרובוט ישעשע את חבריהם ויארר להם חברה לעת זקנה? החלטה זו תתקבל, יש להניח, בצומת מכריע כלשהו בדרך המובילה להולדתם של דור הרובוטים העתידיים. "אנחנו הולכים ומתקרבים", אומר קופנר, שלהערכתו רובוטים יכינו את ארוחותינו לכל היותר עוד חמישים שנה מהיום. "הטכנולוגיות מתפתחות משנה לשנה – ובקצב מטורף."

גריגורי מון קנה זה עתה שואב אבק רובוטי מסוג רומבה.

* * *

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



שלוש עובדות מפתח:

1. **רובוטים מהלכים** היו דבר נדיר לפני עשור, אולם כיום הם שכיחים הרבה יותר ומבנה גופם חסון יותר.
2. הומנואידים שיוכלו **לבוא במגע עם סביבתם בבטחה**, יהיו בעלי כושר למידה מהיר יותר.
3. **משרת רובוטי מיומן וחסכוני הוא עניין של עשורים ספורים בלבד.**

* * *

עוזרת בית בהזמנה

מאחורי עבודתו של פראט מפעם החלום על עוזרת בית רובוטית

האיש מאחורי המכונה :

גיל פראט

השרירים המכניים, המבוססים על מנועים וקפיצים, הופכים את הרובוטיות לחסכוניות יותר באנרגיה ומחדדים את תגובותיהן.

ככל הילדים, גם גיל פראט היה מתבאס כהוגן בכל פעם שהיה מצווה על ידי הוריו לסדר את חדרו. אלא שגיל, שהיה קורא נלהב של כתבי אייזיק אסימוב וצופה הדוק בסדרת הטלוויזיה *Gigantor*, שעקבה אחר מעלליו של רובוט ענק מברזל, חשב שישנה דרך טובה יותר לעשות זאת מאשר להפשיל שרוולים בעצמו. "חלמתי על מכונה שתעשה את כל המטלות במקומי", הוא נזכר. מאז חלפו שלושה עשורים, וכיום פראט הוא בן 45 ואב לשלושה, ונחשב לאחד המוחות המובילים בענף הרובוטיקה. אחת מפריצות הדרך הראשונות שלו נרשמה בשנת 1993, כאשר הצליח לפתח בעצמו אקטואטור אלסטי. התקן זה מורכב ממנוע חשמלי המחובר לקפיץ, והוא מפחית משמעותית את צריכת האנרגיה של גפיים רובוטיות ומגדיל את גמישותן. אקטואטורים אלה משמשים כמעין שרירים מכניים ברובוט הדו-רגלי M2, שפראט עמל על בנייתו כאשר שימש בשלהי שנות ה-90 כמנהל מעבדת הרגליים ב-MIT.

M2, שהועבר לקולג' אולין (בית ספר חדשני להנדסה בנידהאם, מסצ'וסטס) כאשר החל פראט לעבוד שם ב-2001, מיועד להלך בשביל הזהב שבין הרובוטים שפותחו בשנה החולפת בארצות הברית, אשר חסכוניים באנרגיה אך אינם יציבים בהילוכם, לבין הרובוטים הנבנים כעת באסיה, אשר מהלכים ביציבות מושלמת אך זוללים אנרגיה רבה. בסיועו המסור של צוות עוזריו, מקווה פראט לראות דגם חדש ומשופר של M2, עושה את צעדיו הראשונים כבר בסתיו הקרוב.

פראט סולד מהפרכת תחזיות, כך שהוא אינו מוכן להסתכן בניחוש באשר למועד בעתיד שבו המחקר והפיתוח הנערכים כיום יניבו את אותו רובוט עליו חלם בילדותו שיסדר עבורו את החדר. אולם הוא משוכנע בכל ליבו שרובוטים רב-תכליתיים נמצאים בהישג ידה של הטכנולוגיה הנוכחית, ולדעתו רובוטים כאלה בהחלט נחוצים לאנושות. רובוטים כאלה יפטרו את האדם מכל מיני מטלות כפיים אפרוריות ויפנו לו זמן רב יותר להשקיע בחשיבה מסדר גבוה יותר ובטיפוח מערכות היחסים. במקום רובוט שיעשה בייביסיטר לילדיו, פראט דווקא מעדיף "רובוט שילך במקומי לעבודה, כך שאוכל לבלות יותר זמן איכות עם ילדי".

* * *

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



איך ללכת כמו בן אדם

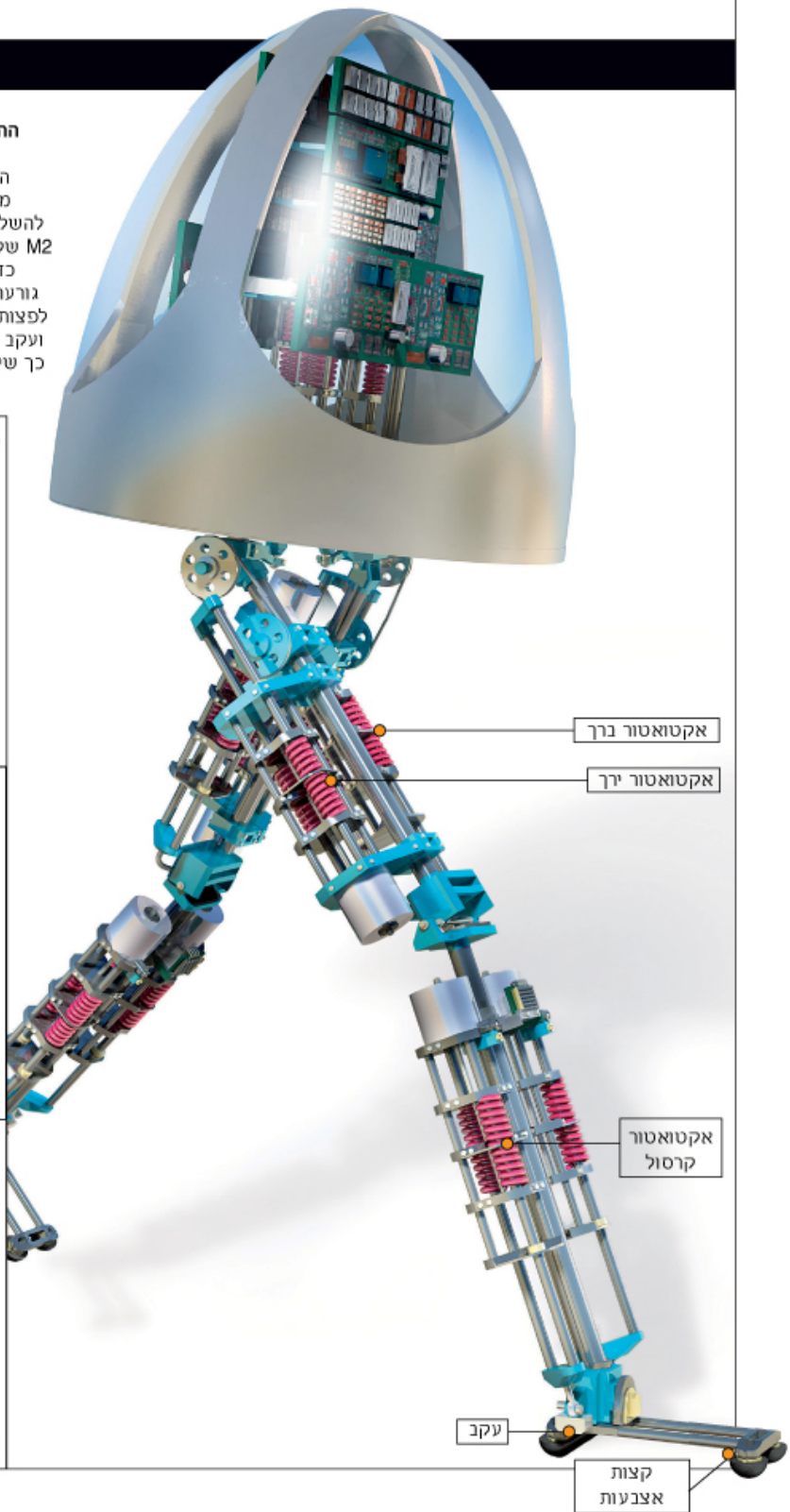
כדי להקנות לרובוט הדו-רגלי שלהם את צורת ההליכה הטבעית של בני אדם, המפתחים מנסים למצוא את האיזון הנכון שבין כוח וגמישות הרגליים האנושיות מתפקדות במובן מסוים כמו מטוטלת, כאשר אנחנו מנצלים את התנופה כדי להשלים צעד אחד ולהתחיל את הצעד הבא. הרובוט M2 של פראט מנסה לחקות את צורת התנועה הזאת כדי להשיג הילוך זורם וחסכוני באנרגיה. גישה זו גורעת אמנם משיווי המשקל של הרובוט, אולם כדי לפצות על כך יזכה בקרוב M2 לבהונות רגישות לכוח ועקב הקורא כיצד מתפזר המשקל על פני כף הרגל, כך שיוכל לדעת כיצד לחלק את הפעלת הכוח הנגדי בין הברך, העקב ומפרק היד.

הקפיצים משמשים

כמו שרירים מתכווצים, כאשר האקטואטורים מופעלים באופן סלקטיבי בנקודות שונות נמהלך הצעידה. כך מחקה M2 את צורת ההליכה החלקה של בני אדם וכמו כן חוסך באנרגיה יקרה.

מפתח:

- מצב מופעל
- מצב כבוי



בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



כדי לא להיתקל במכשולים בדרכו, על הרובוט המהלך על שניים לבחור: להזיז את החפץ, לדלג מעליו, או לעקוף אותו מסיביב.

הטלפון מתחיל לצלצל, וההומינואיד הביתי שלנו צריך להחליט כיצד יש לתמרן בין המכשולים המפרידים בינו לבין שולחן הטלפון. ראשית, הוא עושה שימוש בחיישני הראייה שלו, כדוגמת מצלמות וידיאו וסורקי לייזר, כדי לבנות תבנית מרחבית של סביבתו (כאן ספה, שם כיסא משרדי, כורסה ישר מלפנים). לאחר מכן, הוא שוקל חלופות שונות, המביאות בחשבון שיקולים כגון מהירות ובטיחות, ובוחר בנתיב הרצוי מכול. קפיצה מעל הספה מסוכנת מדי, והכורסה כבדה מכדי להרימה. אבל את הכיסא המשרדי ניתן להזיז בנקל – זו הדרך הטובה ביותר. בעודו עושה את דרכו, הרובוט ער כל העת לשונייים בחדר – זאטוט הזוחל על הרצפה לכיוון הספה, למשל – ובמידת הצורך מעדכן את התבנית המרחבית שלו בהתאם ומחשב מחדש מסלול מיטבי, עד הגיעו כך ליעדו.

* * *

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

**© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר**



האיש מאחורי המכונה

ג'יימס קופנר

זיהוי מכשולים הינו בגדר משימה קלה יחסית. לא להיתקל בהם – זה הדבר הקשה באמת
מדען המחשב ג'יימס קופנר מאוניברסיטת קרנגי מלון, הציב לעצמו יעד צנוע לכאורה: להקנות לרובוטים את האינטליגנציה הנחוצה להם לשם ניווט ברחבי הבית מבלי להיתקל במכשולים, לא יותר מכך. לדבריו, הודות לראייה תלת-ממדית וחיישני לייזר, רובוטים מסוגלים להבחין בחפצים שונים הניצבים מולם. "כעת מה שחסר הוא התוכנה הדרושה."

קופנר, כיום בן 35, היה סטודנט צעיר כאשר הבין כי אם ברצונו להיות בחזית תחום הרובוטיקה, עליו לעקור ליפן. לכן, הוא למד את השפה וזכה במלגת פוסט-דוקטורט תחת הדרכתו של אחד הגורואים בתחום, הירוצ'יקה הינוי מאוניברסיטת טוקיו. אף שהרובוטים של הינוי היו מתקדמים לאין שיעור מבחינה מכנית מן הרובוטים שפותחו באותה עת בארצות הברית, הם לקו קשות ביכולותיהם המוחיות. לאור זאת, החליט קופנר ליטול על עצמו לכתוב מחדש את כל קוד המקור של התוכנה ולהרחיב את יכולותיהם של הרובוטים, ובכך קנה לעצמו מעמד של קבע כאחד מאנשי צוותו של הינוי.

גם כיום עושה קופנר חודשיים בשנה ביפן, שם הוא עורך מבדקים בתוכנת הניווט שתכנת. בהיותו נוסף לכל גם אמן גרפיקה ממוחשבת מוכשר, הוא מריץ תחילה את האלגוריתמים שלו בעולמות וירטואליים. לאחר מכן הוא מטעין את הקוד ברובוטים ממשיים, ובהם הונדה אסימו ו-HRP-2 (בן טיפוחיו של הינוי, אשר חולק דמיון מהמם עם אחיו הקטן של מנהיג הרובוטיקיס, אופטימוס פריים, מתוכנית הטלוויזיה המיתולוגית). הרובוט משתמש בחיישנים שלו כדי להרכיב דגם מרחבי של סביבתו, ובאמצעות התוכנה של קופנר מסוגל הרובוט לשקול חלופות שונות ולבחור במסלול הרצוי.

קופנר, אופטימיסט חסר תקנה, מאמין בכל לב כי גרסאות מתקדמות יותר של התוכנה שהוא כותב כעת ינחו את הרובוטים העתידיים בשיטוטם ברחבי הבית. ולו עצמו יש רק תקוות צנועה אחת והיא: "אשמח מאוד אם רובוט יוכל לאפות לי עוגה טעימה."

* * *

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



האיש מאחורי המכונה

אדוארדו טורס-גארה

יד רובוטית אשר מדמה את חוש המישוש המורכב של היד האנושית

ליד המכנית שבנה אדוארדו טורס-גארה יש שלוש אצבעות בלבד והיא מכוסה בחלקה בשכבת עור גבשושית בגוונים כחולים ירקרקים. לעת עתה, היד מחוברת לרובוט בשם אוברו ("פועל" בספרדית), אבל תקוותו של אדוארדו היא כי יום אחד גרסה מתקדמת יותר של היד הזו תוכל לקפל בגדים, להוציא כלים נקיים ממדיח הכלים – ואפילו להרים סלעים במאדים.

טורס-גארה, בן 34, החל את הקריירה שלו כיוזם ונטל חלק בהקמת מספר מיזמי אלקטרוניקה במולדתו אקוודור. ב-1999 הוא הצטרף לצוות הרובוטיקה ב-MIT. היד הרובוטית המכוסה שכבת עור נולדה מתוך פרויקט אחר: רובוט בעל יכולת הזנה-עצמית, שיועד להתחבר לתוך שקע בקיר בכל אימת שהאנרגיה שלו עומדת להתרוקן. באמצעות מצלמות מסוגל היה הרובוט למצוא את השקע בקיר, אבל האתגר הגדול הנוסף היה כיצד לגרום לרובוט לתחוב את התקע במדויק אל תוך השקע בקיר. "עבור אדם זהו עניין של מה בכך. אולם עבור רובוט, זו פעולה מורכבת מאין כמוה", מסביר טורס-גארה. רוב דגמי הכפפות המכניות הקיימות פשוט אינם גמישות ורגישות דיין.

בדיוק משום כך, החליט אדוארדו ללמוד את המבנה הביולוגי של היד האנושיות, לרבות את פני השטח הנקבוביים והשקערוריים של העור. הוא השתמש בידע שרכש כדי ליצור עור מלאכותי המכוסה בגבשושיות זערוריות רגישות לחץ, המסוגלות למפות את מתאר הכוח המופעל על היד על ידי החפץ. באצבעות, במפרק כף היד ולאורך הזרוע מותקנים אקטואטורים קפיציים בעל רגישות גבוהה, המווסתים את הפעלת הכוח ומונעים מן היד להדק את אחיזתה חזק מדי, כך שאוברו יוכל למשש בבטחה את החפצים המונחים על השולחן, בדיוק כפי שבני אדם משתמשים באצבעותיהם כדי לגשש בחושך אחר מתג החשמל בקיר.

כיצד להשיג אחיזה

העור המלאכותי שמפותח ב-MIT ישמש את הידיים הרובוטיות כדי לחוש כאשר החפץ מתחיל להתחלק מבין אצבעותיהן – ולהגיב מבעוד מעוד

חיישני מהירות

חיישנים הפועלים כמעין "פסי האטה" משובצים בעור המלאכותי ומגיבים בכל אימת שמופעל כוח, וחשים בלחץ הלא-שווה שמפעיל החפץ על צד אחד של היד.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר