



**פופיולר סיינס  
באינטרנט**  
ראה היסטוריה  
מצולמת של רובוטים  
נשיים החל  
ממטרופוליס ועד  
נשות סטפורד  
בכתובת  
[popsci.com/fembots](http://popsci.com/fembots)

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



## רובוטים זה אנחנו

החיפוש רב השנים שלנו אחר אנדרואידים עומד לחסל את הגבול בין המכונה והאדם. העתיד, המחבר והממציא ריי קורצוויל מסביר כיצד

הניסיון האנושי ניחן בסירובו להכיר במגבלות שלנו. נחלצנו מהקרקע, נחלצנו מהכוכב, וכיום, לאחר אלפי שנות מאמץ, הניסיונות שלנו לבנות מכונות שמחקות את המראה, התנועה והתבונה שלנו מובילים אותנו לנקודה בה ניחלץ גם משני הגורמים המגבילים הבסיסיים ביותר: הגוף שלנו והשכל שלנו. בנקודה זו, הנקודה בה קצב השינוי הטכנולוגי המתגבר והולך מאפשר לנו לבנות מכונות שתבונתן לא רק משתווה לתבונה האנושית אלא אף עולה עליה, נוכל להתחיל ולפגוש בסיבורגים (בני אדם משופרים מכאנית כמו סטיב אוסטיין), אנדרואידים (בני תערובת אדם/רובוט כמו דייטה ממסע בין כוכבים) ושילובים נוספים מעבר לכל דמיון.

למרות שתושבי יוון הקדומה היו מהראשונים לבנות מכונות שיכולות לחקות את התבונה האנושית ואת תנועתם הטבעית של בני האדם (פיתוחים שקודמו הודות להתמודדותם של היוונים הקדומים עם השאלה האם ייתכן כי גם התבונה האנושית כפופה לחוקי הטבע), מאמצים אלו פרחו במיוחד בתקופת הרנסנס באירופה בה יוצרו האנדרואידים הראשונים שחיקו את התנועה האנושית. בין אלה ניתן לציין את הגברת נגנית המנדולינה שנבנתה בשנת 1540 על ידי הממציא האיטלקי ג'יאנלו טוריאנו. בשנת 1772 יצרן השעונים השווייצרי פייר-ז'אק דרוו בנה ילד מהורהר בשם לקריבה (הסופר) שיכל לכתוב פסקאות באמצעות עט. מוחו של לקריבה היה מחשב מכאני מרשים במורכבותו גם על פי הסטנדרטים של ימינו.

המצאות מעין אלו הובילו מדענים ופילוסופים להרהר בשאלה האם ייתכן כי גם המוח האנושי עצמו אינו יותר ממכונה משוכללת. וילהלם לייבניץ, בן תקופתו של אייזק ניוטון, כתב בסביבות השנה 1700: "מה אם התיאוריות הללו אכן נכונות והיינו יכולים להתכווץ באופן פלא ולהיכנס למוחו של מישהו בעודו חושב. היינו יכולים לראות את כל המשאבות, הבוכנות, גלגלי השיניים והמנופים פועלים והיינו יכולים לתאר את פעולתם במלואה, במונחים מכאניים, וכך לתאר באופן מלא את תהליכי המחשבה של המוח. אבל תיאור מעין זה לא יכלול בשום מקום התייחסות כלשהי למחשבה! הוא יכלול אך ורק תיאורים של משאבות, בוכנות, מנופים!"

לייבניץ עלה על משחו. אכן ישנם משאבות, בוכנות ומנופים במוח, כיום אנו מזהים אותם כניורטרניזמטירים, ערוצים יוניים וכל שאר הרכיבים המולקולאריים של המכונה העצבית. ולמרות שאיננו מבינים עדיין באופן מלא את מלוא הפרטים ביחס לאופן בו מכונות זעירות אלו יוצרות מחשבה, חוסר הבנתנו לא תימשך עוד זמן רב.

המילה "רובוט" הופיעה לראשונה כמעט לפני מה שנים. המחזאי הציכי קארל קאפץ' היה הראשון להשתמש במונח זה במחזהו של משנת 1921 E.U.R. (ראשי התיבות: Rossum's Universal Robots או "הרובוטים האוניברסאליים של רוסום"), תוך שהוא יוצר מונח זה מהמילה הציכית "robota", שמשמעה עבודת כפייה. במחזה הוא מתאר את המצאתן של מכונות ביומכאניות תבונתיות שמטרתן לשמש כמשרתים של יצריהן האנושיים. הרובוטים שלו, שחסרו קסם אישי ורצון טוב, שילבו יחדיו את כל רכיבי התבונה המכאנית: חזון, רגישות מגע, זיהוי דפוסים, קבלת החלטות, ידע כללי, קואורדינציה מוטורית עדינה ואפילו מידה מסוימת של היגיון בריא. קאפץ' התכוון להציג את המכונות התבונתיות שלו כיצורים רשעים במושלמות שלהם, ברציונאליות המושלמת שלהם שבה לשבירות האנושית. רובוטים אלו מתקוממים בסופו של דבר כנגד בעליהם ומשמידים את כלל האנושות, רעיון שזכה לביטוי חוזר ונשנה ביצירות רבות מתחם המדע הבדיוני לאורך השנים.

רעיון ה**בינה** המכאנית המשעבדת את יוצריה המשיך להיחרט בתודעה הציבורית. אך חשוב מכך, הרובוטים של קאפץ' הציגו את הרעיון של הרובוט כחיקוי של האדם או אף כחלופה לו. רעיון זה זכה לחיזוקים במהלך המאה ה-20 עם חדירתם של האנדרואידים לספרות ולקולנוע, החל מרוזי ועד C-3PO ושליחות קטלנית. יחד עם זאת הדור הראשון של הרובוטים המודרניים הציג רובוטים שונים מאוד מהרובוטים האנושיים הדמיוניים ומרבית בוני הרובוטים אינם מנסים לשוות לרובוט מראה אנושי. יונימייט (Unimate), רובוט פופולארי מסחרי משנות ה-60 היה מסוגל לכל היותר להניע את זרועו האחת במספר כיוונים ולפתוח ולסגור את לפיתתו. כיום ישנם למעלה מ-2,000,000 רובוטי רומבה ברחבי העולם שמבצעים משימה (שאיבה) שבעבר בוצעה על ידי בני אנוש, אך הם דומים יותר לצב מהיר מאשר לעוזרת בית.

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



מרבית הרובוטים ימשיכו להיות מכשירים מפיקי תועלת שתפקידם לבצע משימות מסוימות. אך כאשר אנו חושבים על המילה "רובוט", הרעיון הישן בן 100 השנים של קאפץ' אודות מכוונת שמוצרות בדמותנו שלנו ממשיך לשלוט בדמיונו ולהעניק השראה ליעדינו.

את השאיפה לבנות אנדרואידים דמויי אדם ניתן לראות כאתגר האולטימטיבי בתחום הבינה המלאכותית. כדי לעשות זאת אנו צריכים להבין לא רק את ההכרה האנושית אלא גם את הכישורים הפיזיים שלנו שהרי, אחרי הכל, הכישורים הפיזיים שלנו מהווים חלק מהותי מפעולת המוח. התיאום בין הכוונה והתנועה בסביבה מורכבת מבוצע בעיקר על ידי המוח הקטן שמכיל למעלה ממחצית תאי העצב במוח. והגוף עצמו מהווה חלק גדול במורכבות שלנו: יש יותר מידע בגנום האנושי, שמתאר את הגוף האנושי, מאשר בתוכנית המוח.

אנו צועדים בצעדי ענק לעבר הנקודה בה נהיה מסוגלים להבין כיצד פועל המוח. היחס ביצועים/מחיר הקיבולת ורוחב הפס של סוג כלשהו של טכנולוגיית מידע, בין אם אלקטרונית או ביולוגית, מכפילים את עצמם מדי שנה. אני מכנה תופעה נפוצה זו בשם חוק החזרות המואצות. ההבנה שלנו את הביולוגיה מתגברת בקצב מואץ שגדל והולך אקספוננציאלית מדי שנה. מדענים נדרשו להשקיע חמש שנים כדי למפות את נגיף האיידס, לדוגמה, אך נגיף הסארס מופה תוך לא יותר מ-31 יום. היקף הנתונים הגנטיים הממופים מכפיל את עצמו מדי שנה מאז תחילת העבודה

על פרויקט הגנום האנושי בשנת 1990, והעלות לכל צמד בסיס קטנה בחצי מדי שנה, מסך של \$10 בשנת 1990 לסך של כ-סנט אחד היום. אנו מתקדמים באופן מהותי בהבנת האופן בו הגנום מבטא עצמו בחלבונים ובהבנת אופן פעולתם של סדרה גדולה של מנגנונים ביולוגיים, אנו מרבים ויוצרים מחדש כמעט כל איבר ומערכת בגוף האנושי: הלב והלבלב, המפרקים והשרירים. אותה התקדמות קיימת גם בכל הקשור לידע שלנו לגבי המוח האנושי.

הרזולוציה התלת ממדית של סריקות המוח מתפתחת בקצב מהיר והדור העדכני ביותר של הסורקים יכול לדמות הבזקי חיבורים עצביים בזמן אמת. היקף המידע הנאסף על ידי מדענים ביחס למוח גדול באופן דומה גם הוא מדי שנה. והם מראים שניתן להבין מידע זה על ידי המרתו למודלים והדמיות של אזורים במוח, שכעשרים וארבע מהן הושלמו כבר. גם IBM השיקה לאחרונה פרויקט שאפתני למידול חלק מהותי מקליפת המוח ברמת פרטנות מדהימה.

אם עלינו ליצור מחדש את עוצמותיו של המוח האנושי, ראשית אנו נדרשים להבין את רמת המורכבות שלו. ישנם 100 מיליארד תאי עצב, שכל אחד מהם מכיל אלפי חיבורים, שכל אחד מהם מכיל כ-1000 נתיבים עצביים. הערכת את היקף המידע הנדרש לאפיון מצבו של מוח בוגר באלפי טריליוני בייט: מורכב מאוד.

אולם, תוכנית המוח פשוטה מכך פי מיליארד. כיצד אנו יודעים זאת? תוכנית המוח האנושי, והגוף האנושי מאוחסנת בגנום, והגנום לא מכיל כל כך הרבה מידע. ישנן שלוש מיליארד דרגות DNA בגנום האנושי: 5 מיליארד סיביות, או 800 מיליון בייט. הוא גדוש חזרות מיוצרות, ישנו לדוגמה רצף ארוך במיוחד אחד המכונה ALU החוזר על עצמו 300,000 פעם. היות ואנו מבינים את מבנה הגנום, אנו מסוגלים לדחוס את המידע שלו ללא יותר מ-100-30 מיליון בייט, היקף קטן יותר מהיקף הקוד של MS Word. כמחצית מקוד זה מכיל את תוכנית המוח האנושי.

את המוח ניתן לתאר בלא יותר מ-50-15 מיליון בייט משום שמרבית החיווט שלו רנדומאלי בלידה. לדוגמה, טריליוני החיבורים במוח הקטן מתוארים באמצעות קומץ גנים בלבד. מכאן נובע שמרבית חיווט המוח הקטן במוח הפעוט הוא כאוטי. יחד עם זאת המערכת מתוכננת כך שתארגן את עצמה כך שבעוד הילד לומד ללכת ולדבר ולתפוס כדור באוויר, המוח הקטן מתמלא במידע משמעותי. אני לא מנסה לומר כאן שהמוח פשוט, אלא שהתוכנית שלו היא ברמת מורכבות שאנו מסוגלים לחקור ולהבין. באמצעות החלת חוק החזרות המואצות לבעיית ניתוח מורכבות המוח נוכל לחזות באופן סביר כי מודלים ממצים והדמיות של כל מאות אזורים המוח האנושי יתקיימו תוך לא יותר מ-20 שנים מהיום.

לאחר שנבין כיצד פועל המוח נוכל לתכנת תיאורים מפורטים של עקרונות אלו במחשבים פשוטים ולא יקרים שעד שנת 2020 יהיו חזקים באלפי מונים מהמוח האנושי, השלכה נוספת של חוק החזרות המואצות. כך יהיו בידינו הן החומרה והן התוכנה להשגת בינה אנושית במכונה עד שנת 2029. עד אז נוכל גם לבנות אנדרואיד דמוי אנוש מושלם ברמת פרטנות מדהימה ולשלוח רובוטים בגודל תאי דם לתוך גופנו ומוחנו כדי לשמור על בריאותנו מבפנים וכדי לשפר את הבינה שלנו. כאשר נגיע ליום בו נבנה בהצלחה מכוונת מעין אלו נהיה כבר בעצמנו חצי מכאניים. במילים אחרות, סוף-סוף נוכל להתגבר על מה שזמן כה רב נתפש כמגבלות האולטימטיביות: הגוף והמוח שלנו.

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



## רובוטים פופולאריים אנדרואידיים, סייבורגים ומכונות נוספות שאהבנו

1927

**מריה**

**מטרופוליס**

מריה הרשעית המפתה של פריץ לאנג נבנתה לדיכוי מעמד הפועלים. שיטותיה היו בלתי מקובלות, לדוגמא, היא גרמה להתפרצות של מהומות באמצעות ריקוד אקזוטי.

1951

**גורט**

**היום בה האדמה עצרה מלכת**

שגריר חוצן לכדור הארץ. רובוט עושה שלום שהיה מסוגל לאייד כלי נשק מבלי לפגוע באויביו.

1956

**רובי הרובוט**

**הכוכב האסור**

רובי בעל החזה דמוי החבית הופיעה במספר סרטים נוספים ובתוכניות טלוויזיה שונות, כולל משפחת אדאמס, אבודים בחלל ו-

1962

**רוזי הרובוט**

**הג'טסונים**

רוזי ביטאה היטב את החלום שלאחר המלחמה על עולם שקל יותר לחיות בו הודות לטכנולוגיה, חזון שממשיך להוות השראה לחוקרים בתחום הרובוטים דמויי האדם.

1973

**האקדוחן**

**עולם המערב**

אנדרואידי בלתי מזיק זה היווה מטרת אימון לאורחים בפארק שעשועים למבוגרים. אולם תקלה הפכה אותו לאלים באופן בלתי ספורטיבי לחלוטין.

1977

**C-3PO**

**מלחמת הכוכבים**

הכול מוח וללא כוח, אנדרואיד חביב זה שימש כמעין חיית המחמד של בן הלוויה הקטן אך האמיץ של לוק, האן ו-3PO, R2-D2.

1984

**CT-800**

**שליחות קטלנית**

הרוצח עם האינסטינקט הפוליטי הראשון מבין האנדרואידיים: הוא שיחק רוצח כמעט בלתי ניתן להשמדה שנשלח לחסל את אימו של מנהיגה העתידי של האנושות.

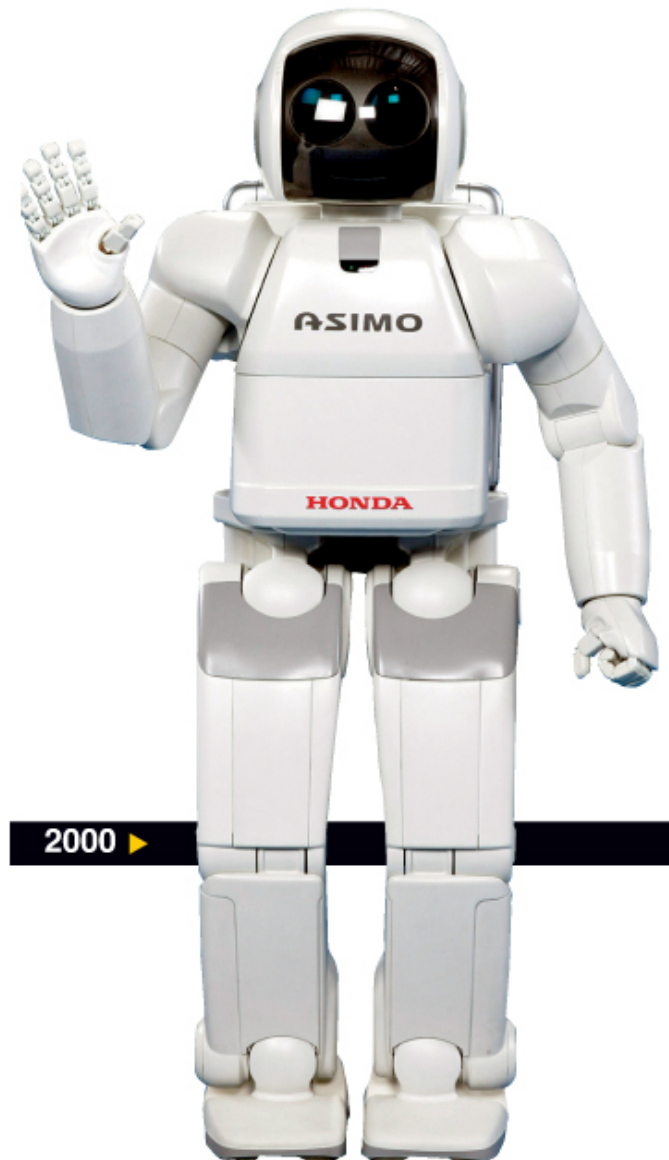
בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכלל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

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



**2000**  
**אסימו**  
**של הונדה**

פרויקט בן כמעט 15 שנים. אסימו הוא הרובוט דמוי האדם הראשון שניחן ביכולת לעמוד על שני גליו ולצעוד בקלות קדימה ואחורה.



**2003**  
**מספר 6**

**באטלסטאר גלקטיקה**

ציילונים, רובוטים רשעים שאמות המוסר שלהם מניעות אותם לחסל את האנושות כעונש על חטאינו, קיימים ב-12 דגמים. מספר 6 יוצר למטרות ריגול ופיתוי.

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