

בינה מלאכותית בשירות התורה

אחת ההתפתחויות המעניינות ביותר בדורנו, במיוחד בשנים האחרונות. היא הנסיגות לגרום למחשבים 'להבין' את הטקסטים המאוכסנים בתוכם. תארו לעצמכם מחשב שיוכל לקרוא למשל עמוד גמרא, לציין עבורנו ישר את כל מראי המקומות למסורת הש"ס ו'תורה אור' (גם אלו שלא צוינו בדפוס וילנא), ולא רק זה אלא גם לפענח ראשי תיבות, להשוות את נוסח הגמרא לכל כתבי היד הזמינים, ולהצביע על שינויים שעשויים להיות חשובים. אם נרצה – נוכל לשאול אותו על המאפיינים היחודיים של לשון מסכת מסויימת, כגון נדרים שהראשונים כבר העידו כי "לשון נדרים משונה", או לזהות עבורנו את המשניות שנכתבו על ידי תנא ירושלמי שלשונו 'לישנא קלילא' (ראה ב"ק דף ו:), נשמע מדהים – לא? ובכן, כבר נעשים בימינו ממש צעדים ראשונים בתחום, והם זמינים לכולנו בלחיצת כפתור!

כדי להבין את העניין נצטרך להקדים מעט רקע, וזה יהיה נושאו של המאמר הזה. הרעיון שהצגנו כאן כרוך בשאלה חשובה מאוד, הצועדת יד ביד עם התפתחות יכולות המחשב לאורך השנים, והיא: האם המחשב מסוגל ללמוד באופן דומה לצורת הלמידה האנושית.

מחשבים, בתחומם, הם גאוניים. זאת יודע כל אחד: חישובים מורכבים הדורשים שנים שלמות מאדם או מצוות של אנשים, נעשים על ידי מחשב פשוט ברגע כמימרא. משימות הדורשות מליוני חישובים מסובכים ברגעים ספורים, כגון שילוח טילים וחלליות אל החלל – מבוצעים על ידי מחשבים כדבר שבשגרה. בתחום הזכרון בכלל אין מה לדבר: כל מידע המקודד לתוך המחשב, ויהיה זה טקסט, מוזיקה, תמונה וכדומה, נשמר בזכרוננו לעד כל עוד שהדיסק המאחסן שלם. והוא גם יכול 'לשלוף' מזכרוננו כל פרט ופרט בצורה מדהימה, הוא לא מפספס אפילו פסיק! יעידו על כך אלפי אלפי בני תורה שמתמשים במאגרי מידע תורניים לצורך לימודם, או עורכי המהדורות החדשות של ספרים תורניים בימינו. ישנם היום **ספרים שלמים** שלא יכלו להתחבר בשום אופן בלא סיוע של המחשב.

אין שום מוח אנושי שיכול בכלל להתקרב ליכולות של מחשב נייד קטן הנישא בתיק יד ומחירו שווה לכל נפש. למעשה הבעיה כיום היא יותר עודף מידע מאשר חוסר מידע; לאנושות קשה להתמודד עם כמויות המידע העצום שהמחשב מזמין לה בלחיצת מקש.

ועדיין, עם כל זה, יכולותיו של המחשב רחוקות מרחק שנות אור מצורת החשיבה האנושית. ויש תחומים לרוב, שעבור האדם הם משימה קלה נטולת מאמץ, ובעבור המחשב הם מכשולים עצומים. זאת משום שיש הבדל עקרוני בין אדם למחשב באשר לרכישת ידע. מחשבים מצטיינים בטיפול ב**נתונים** (דאטה בלעז), הם מאחסנים נתונים בכמויות אדירות, שולפים אותם בהרף עין, ומסוגלים לבצע עליהם מניפולציות מסובכות. מחשבים מסוגלים גם לחזור על פעולות שגרתיות פעמים רבות מאוד, במהירות עצומה, בלי להתבלבל ובלי לטעות אפילו פעם אחת. בני אדם לעומת זאת בדרך כלל אינם טובים בחזרות, אינם מצטיינים בחישובים ולא בטיפול בנתונים, אבל הם **יודעים** הרבה מאוד, משום שהם שומרים במוחם את ה'עיקר', את המהות או ההכללה של האירועים שהם חוו. הידע האנושי בנוי מהסקת מסקנות והכללה של המון פרטים, האדם אינו זוכר את הפרטים [בכל אופן לא באופן מודע], אלא את המסקנה שהסיק מהם. מחשב לא מסוגל לזה בכלל. האדם גם מסוגל לאלתר ולהבין דברים שלא לימדו אותו; מחשב לעומת זאת 'יודע' רק את מה שתכנתו לו.

לדוגמא: אדם הרואה חפץ כל שהוא, ידע לזהותו גם אם החפץ יהיה זקוף, שוכב על צידו, או בכל זווית שתהיה. מחשב לעומת זאת צריך השקעה עצומה כדי להבין שחתול נשאר חתול בכל זווית שהיא, בין אם הוא מקבל תמונה שלו מן הצד, או מהחזית. תהליך הלמידה של מחשב 'לתובנה' הפשוטה הזאת הוא מפרך, ורק מהירותם המופלאה של המחשבים מצליחה 'לכסות' על הידע הגדול שהם נצרכים לרכוש כדי להגיע לדברים שעבור האדם – ואפילו תינוק בן שנה – הם מאמץ של כלום.

יכולת ה'קריאה' של מחשבים

הדוגמאות דלהלן תסברנה לנו קצת את הקושי הגדול העומד בפני מחשבים לחקות את החשיבה האנושית. כשאנו מתיישרים לקרוא, איננו מעלים בדעתנו איזו מלאכה מורכבת עושה המוח שלנו כדי לאפשר לנו לקרוא, למשל את השורות האלו.

כשאנו קוראים טקסט כל שהוא, המוח שלנו 'משלים' מידע רב שנצרך כדי להבין את הכתוב, ואינו מפורש בספר. לדוגמא: אדם שיקרא את המשפט "קתרינה הכתה בחופי פלורידה" יבין על פי רוב בקלות שמדובר בסופת הוריקן, משום שהוא כבר יודע שהדרך לכנות בשמות נשים את סופות ההוריקן. וההקשר גורם לו להבין שמדובר בסופה ולא בבת אנוש. בשביל מחשב – זה מחסום גדול, והוא צריך הוראות תכנות מסובכות מאוד כדי לצלוח אותו. התחום של הבנת השפה הוא אחד מפלאי היכולת האנושית.

דוגמא מוצלחת היא היכולת שלנו להבין את הטקסט הבא:

בעקבות מקרה שנשעה באוניבסטירה אנגלית, נצמא כי זה לא מנשה באזיה סדר אתה כתוב את האותיות כל עוד האות הרשואנה והארוחנה בקמום הכנון. השאר יוכל ליוהת בגלן שלם ואתה עיידן יוכל לרקוא בלי ביעה. זאת בלגל שנאו לא קוארים כל אות בעמצה אלא את כל המליה עם ההקשר ההגויני שלה. נמחד, לא?

אבל הבה נדבר על שלב מוקדם הרבה יותר: היכולת 'לראות' את הכתוב. כלומר: להבין את צורת האותיות! אותה יכולת אנושית בסיסית הנרכשת כבר בכיתה א' (או קודם). הדרך הפשוטה להזין טקסט לתוך מחשב היא להקליד אותו, ואז כמובן אין שום בעיה. הנקודה היא שהמחשב לא יודע – ולא משנה לו כלל – מהי המשמעות של האות א' למשל, מבחינתו זה צירוף מספרים כל שהוא המאוחסן בזכרון. אבל אם אנו נותנים למחשב 'לקרוא' דף כתוב שלא הוקלד – כאן מתחילה בעיה קשה מאוד.

כיצד מחשב 'קורא'? ובכן: מזינים דף לתוך סורק אופטי המאחסן את התמונה בזכרון המחשב. הסורק מסוגל כמובן רק להפוך את המסמך לצילום אלקטרוני של הדף, המורכב ממיליוני נקודות שחורות ולבנות (מה שמכונה בשפת המחשבים פיקסלים) ולהעבירו בצורה זו למחשב. המחשב מצידו אינו מבין מה כתוב במיליוני הנקודות השחורות/לבנות הללו. וכאן נכנסות לתמונה תוכנות שונות המשתמשות בטכנולוגיה שנקראת OCR והמבוססת על כך לכל אות יש מבנה טופולוגי אופייני לה. שיטת הניתוח הטופולוגי נותנת תיאור כזה לכל אות או תו. בתהליך הזיהוי, מפורקת האות הסרוקה לגורמים, ומזוהים בה האלמנטים הטופולוגיים דוגמת קווים אנכיים, אופקיים ואלכסוניים, וצמתים [כגון המפגש של שלושת רגלי השי"ן עם הבסיס]. האלמנטים שנתגלו מושווים למאגר מידע בו הוגדר מראש כיצד צריכות להיראות האותיות, והצורה הקרובה ביותר נותנת את התשובה באיזה אות מדובר.

נסיונות ראשונים ללמד את המחשב 'לקרוא' החלו כבר בשנות החמישים של המאה העשרים והיו מבוססים על שיטה של השוואת דוגמאות. בשיטה זו, היה צורך ללמד את המחשב את צורות האותיות. לאחר מכן המחשב היה לוקח את האות הנסרקת ומשווה אותו לכל הדוגמאות שלמד, ומוצא על ידי כך את האות הדומה ביותר.

בפני שיטה זו ניצבו שתי בעיות: האחת – כל פעם שגודל האותיות או הגופן השתנה (ואפילו במעט) היה צורך ללמד את המחשב הכל שוב מההתחלה. השניה, לאלגוריתם הזה לא היתה שום יכולת אבחנה בין עיקר לטפל; הוא לא היה מסוגל להבחין בין פיקסל (נקודה) שהינה סתם לכלוך בדף, לבין אותה בליטה קטנה בצד ימין למעלה המבחינה בין האות דלת לאות ריש. בשל מגבלות אלו פנו אנשי המחקר לפתרונות שניסו להפשיט יותר ויותר את העקרון העומד מאחורי כל אות, ולתכנת אותו למחשב בצורה כזו שהוא יצליח להפריד בין עיקר לטפל ולהתגבר על 'רעש' שאינו משנה, כגון סוג הגופן, או עיצוב שונה של האות. לא נאריך בתיאור המכשולים העצומים, וה'מעקפים' המתוחכמים

שנבנו בעמל רב. השורה התחתונה היא שעד היום, הפיכת דף מצולם לטקסט על ידי מחשב אינה חפה מאחוז נכבד של שגיאות, במיוחד בעברית שבה אחוז האותיות הדומות מאוד זו לזו [כגון ז/ד/ר, ב/כ, ו/י, ה/ח] גבוה הרבה יותר מאשר בכתב הלועזי. כל משתמש שניסה להשתמש בטקסט שנוצר על ידי תוכנות זיהוי טקסט המשתמשות בטכנולוגיית OCR, כגון ב'אוצר החכמה' או 'היברו בוקס'.

לעומת זאת, ברור מעבר לכל ספק שהמוח האנושי אינו נזקק לשום ניתוח לוגי, טופולוגי או אחר על מנת לזהות צורות של אותיות, או כל צורה אחרת, יהא זה פרצוף או חפץ כלשהו. המדענים קוראים ליכולת הזו זיכרון אסוציאטיבי, ובלשון בני אדם 'טביעת עין'. אף אחד אינו מסביר לילד בכיתה א' שלומד את צורות האותיות, שהאות "א" מורכבת מקו אלכסוני שמתחיל בצד שמאל למעלה ויורד לצד ימין למטה בזווית שבין 35-40 מעלות, עם קו אנכי שעולה משני השלישים התחתונים של האלכסון ועוד קו אנכי. תיאורים מסוג זה עשויים רק לבלבל אותו, כל מה שהילד צריך הן רק כמה דוגמאות מכל אות והוא כבר תופס את העיקרון.

איך כמו העין האנושית

לא זו בלבד: העין האנושית זקוקה רק לזיהוי של 80% - 70% ואף פחות מכך על-מנת לזהות במדויק את הכתוב, שכן העין מגובה בכמויות גדולות של אינטליגנציה. ברוב המקרים, כשאנו קוראים טקסט אפילו איננו מסתכלים על האותיות עצמן. פעולת הזיהוי, טביעת העין או הזכרון האסוציאטיבי שלנו, פועלים על מילים שלמות ואף מספר מילים בעת ובעונה אחת. איננו קוראים אפילו את המילים, אלא מחפשים את המשמעות, מושג שכלל לא קיים אצל המחשב, וכל זה מאפשר לנו להסתפק במעט מאוד אינפורמציה. היכולת הזו היא המאפשרת לנו לקרוא כתב-יד, איננו טורחים אפילו לזהות את האותיות עצמן שבחלק גדול מהמקרים אינן מזהות על ידינו בצורה חד משמעית. לעיתים אנו מזהים **פחות מחמישים אחוזים מהאותיות**, במיוחד לאור העובדה שבני אדם אינם כותבים אלא משרבטים, וסומכים על כך שהקורא כבר יבין במה מדובר. בשביל המחשב, לעומת זאת, כתב יד אנושי הוא דבר מתסכל מאוד.

במילים מדויקות יותר: קליטת מידע מן החוץ מתרחשת במוחנו בשני אופנים. האחד שניתן לכנותו תהליך 'מלמטה למעלה': קולטני החישה (במקרה שלנו העיניים) מזרימים נתונים שהופכים לאותות לאותות עיצביים במוח, שבתורו, על ידי תהליכים קוגניטיביים גבוהים מקנה את המשמעות למה שראינו. האופן השני הוא תהליך 'מלמעלה למטה': בתהליך כזה הפרשנות לעצם שנקלט אצלנו מתעצבת בעקבות ציפיות של הקשר וידע מוקדם שיש לנו. אלו עוזרים לנו לפענח מהר יותר את מה שראינו. לדוגמא: אנחנו נצפה שלוח מלבני בתוך כיתת לימוד יהיה לוח מחיק ולא מסך שמציג את מדדי הבורסה. המוח האנושי משלב את שני התהליכים ובאופן הזה הוא יכול לקבל מידע מבלי שיש לו את התמונה המלאה. בינה מלאכותית – לעומת זאת – אינה מסוגלת לבצע ביעילות את התהליך מלמעלה למטה, ודאי לא בלי תכנות שיגדיר לה במדויק מה עליה לעשות.

יכולת נפלאה זו של המוח האנושי דווקא עומדת בעוכרי מגיחי טקסטים, ובמיוחד מגיחי ספרי סת"ם שבחלק גדול מהמקרים זוכרים את הטקסט בעל פה, משום שהנטיה 'להשלים' את הפערים גורמת לכך שהמגיח 'רואה' את מה **שאמור** להיות כתוב, ולא מה שכתוב באמת. לכן היום מקובל שלא מכשירים ספר תורה בלי הגהה של מחשב. שכן המחשב לעולם לא 'ישלים' פערים שאינם נמצאים בכתוב לפניו. יכולת זו כמובן טובה כשמדובר בטקסט שתוכנו הוקלד כבר למחשב, והוא רק משווה בין הכתוב ובין מה שיש אצלו. אך לא בטקסט חדש שהמחשב צריך לפענח אותו.

שלא לדבר על כך שאם נרצה להתקדם ל'הבנת הנקרא', זה כבר נראה שלב של מחשב אין שום יכולת להגיע אליו. אם נתפוס שוב את מה שפתחנו: האם נוכל להציג למחשב קושיא שנפלה לנו בלימוד הדף היומי, ולבקש ממנו תשובה שהוא חשב בעצמו? זה נראה "על מנת שתעלי לרקיע". כל מה שאנו יכולים לעשות היום הוא לכתוב למחשב מילות מפתח, והוא ימצא דברים שכבר נכתבו. לדוגמא: אם אני עומד בתחילת מסכת יבמות ורוצה למצוא חומר על קושיית רעק"א המפורסמת מדוע צריך פסוק מיוחד לאסור 'צרת צרה', אוכל לכתוב למחשב 'צרת צרה', להוסיף הוראה מיוחדת שיחפש גם ראשי תיבות צ"צ או צר"צ, וכדי שלא לקבל מבול לא רלוונטי של מידע אצטרך לצמצם את החיפוש ולהוסיף

לו את המילה 'רעק"א' באיזה אופן. המחשב כמובן לא יודע בחיכוך וביומיון מהקושיא והתירוץ, הוא פשוט יסרוק את מאגריו בחיפוש אחר המילים שביקשתי, וגם זה יעיל מאוד. אך 'להבין' את הקושיא ולחשוב על תירוצים אפשריים - זו כמובן רמה אחרת לגמרי. המחשבים לא שם, לגמרי לא.

התפתחות הבינה המלאכותית

למרות כל זאת, מאמץ גדול הושקע במשך השנים כדי להקנות למחשב יכולות המחקות את החשיבה האנושית. זאת על ידי כל מיני 'מעקפים' מתוחכמים המנצלים את יכולות המחשב העצומות. אחת הדוגמאות המפורסמות היא 'מבחן טיורינג', שהוא כינוי למבחן שהציע המתמטיקאי אלן טיורינג בשנת תש"י (1950 למנינם), במאמר שפרסם בכתב העת Mind, כמדד אפשרי למידה שבה יש למכונה כלשהי אינטליגנציה. המבחן נעשה בדרך הבאה: חוקר מקיים דיאלוג בשפה טבעית עם שני גורמים סמויים מעיניו, האחד אדם והשני מכונה. אם החוקר אינו מסוגל לקבוע בביטחון מי האדם ומי המכונה, אזי המכונה עברה בהצלחה את המבחן. מספר תוכנות פותחו כדי לעמוד במבחן הזה, ומידי פעם הן קצרו הצלחות נאות, בשנת תשס"ח (2008) היתה תוכנה שהצליחה לשטות ברבע מהשופטים ש'שוחחו' עמה וחשבו שהמחשב הוא האדם. ותוכנה אחרת שהשתתפה במספר תחרויות היתה תוכנה בשם "יוג'ין גוסטמן" (Eugene Goostman) שדימתה ילד בן 13 מאוקראינה (שאינו דובר אנגלית כשפת אם). בשנת תשע"ד היא הצליחה לשטות בשליש מהשופטים (10 מתוך 30) ששוחחו עימה 5 דקות וטעו לחשוב שהם מדברים עם בן אנוש. אולם רוב המדענים החוקרים את התחום סבורים שעדיין כל זה לא נחשב להצלחה ב'מבחן'.

מבחן טיורינג הוא הגדרה פילוסופית שאפשר להתווכח עליה במשך שנים ולחדד את ההגדרות, אולם למחשבים יש הישגים שעליהם לא ניתן להתווכח. לדוגמא: בעבר חשבו שהיכולת לשחק שחמט ברמה גבוהה היא יכולת אנושית שהמחשב לא יוכל לחקות בשום אופן, משום שהמהלכים בנויים על תכנון אסטרטגיה ועל אינטואיציה שהמחשב אינו יכול לחקות. אך בסופו של דבר זה קרה, ובאופן מוחץ!

קספרוב והמחשב

שחקן השחמט גארי קספרוב נחשב לשחקן השחמט הגדול ביותר בהיסטוריה. הוא היה ילד פלא, שכבר בגיל 13 החל להשתתף בתחרויות שחמט בינלאומיות. ובשנת תשמ"ה, בגיל 21, כבר זכה באליפות השחמט העולמית לאחר שהביס את טובי המוחות בתחום באופן מוחץ. קספרוב נחשב עד היום כשחקן השחמט הגדול בהיסטוריה האנושית. אך בשנת תשנ"ד הוא התיישב לשחק מול 'מוח' אחר שעתידי היה להנחיל לו הפתעה קשה. המוח הזה היה תוכנת מחשב, פיתוח של חברת יב"מ, שנקראה 'מחשבה עמוקה'. התוכנה הזאת היתה אז תוכנת השחמט המתקדמת ביותר, אבל קספרוב עדיין הצליח לגבור עליה. אנשי יב"מ לא התייאשו, והמשיכו לפתח גירסה חדשה ומתקדמת יותר, שנקראה 'כחול עמוק'.

מאגר של מאה שנות משחקי שח הוזן לזיכרוננו של המחשב שהכיל את התוכנה, ויכולות החישוב שלו הועצמו כדי להתגבר על אחד האתגרים הקשים שהציב קספרוב בפני 'מחשבה עמוקה' - יכולת הווירטואליזם לשנות את מהלכו האסטרטגי באמצע המשחק.

מה שמעניין במיוחד הוא שהמתכנתים אמנם ניסו לבנות מחשב שיוכל לחקות תבונה אנושית, אבל משנוכחו שביצועיו מאכזבים, החליטו להסתמך על יכולות בסיסיות יותר: כוח חישובי ופונקציות פשוטות יחסית של חיפוש והערכה. "כחול עמוק" אמנם פותר בעיות שח ביעילות מדהימה, אבל האינטליגנציה שלו פחותה מזו של האדם הטיפש ביותר, הצהירו ביב"מ. היתרון שנתן למחשב סיכוי לנצח את קספרוב היתה יכולתו לחשב 200 מיליון מהלכים בשנייה אחת! קספרוב, לשם השוואה, היה מסוגל לחשב בשנייה אחת שלושה מהלכים בלבד. כפי שקספרוב ניסח זאת, "מהותו של המשחק מול המחשב הוא לבדוק אם אינטואיציה וניסיון אנושיים מסוגלים לנצח יכולות חישוב מאסיביות".

בחודש שבט תשנ"ו, נערכה התחרות הראשונה, והבלתי-יאומן קרה, המחשב הביס את קספרוב. קספרוב אמנם הצליח לחזור ולהביס את כחול עמוק בהמשך, אבל שנה מאוחר יותר, בתחרות נוספת, 'כחול עמוק' רשם הישג מובהק יותר, כאשר יצא מסדרה של שישה משחקים כשידו על העליונה. הצלחות מדהימות נוספות נרשמו בתחומים מהסוג הזה, כגון תוכנת מחשב בשם 'אלפא גו' שניצחה בתשע"ה את אלוף העולם במשחק הנקרא 'גו', והנחשב מסובך עוד יותר משחמט. תכנת מחשב אחרת בשם 'פלוריוס' ניצחה את חמשת השחקנים המובילים בעולם במשחק הנקרא טקסס הולדם. במשחק הזה, שהוא משחק קלפים, הדבר המיוחד הוא שלכל שחקן אין אפשרות לדעת איזה קלפים מחזיק השחקן האחר, כך שלא שייך בשום אופן להזין את המחשב במידע מראש.

הידען העולמי

דוגמה אחרת – אפילו 'אנושית' ומדהימה יותר היא 'הבנת שפה' שגם נחשבה יכולת אנושית בלבד. העובדה היא שהיום אפשר להציג שאלות אנושיות לתוכנות מחשב בשפה אנושית, והן מצליחות לענות עליהן את התשובה המספקת מבחינת השואל – הרבה יותר מנשאל אנושי. כל מי שמחפש תשובה ברשת הממוחשבת משתמש למעשה ביכולת הזאת. יתירה מזו: תוכנות מסוגלות לזהות היום דיבור אנושי בהצלחה גוברת והולכת. ויעיד על כך המענה הטלפוני הניתן במערכות שונות, כמו בנקים וקופות חולים. המערכת מסוגלת לזהות תשובות קוליות פשוטות דרך הטלפון, וזה עוד כלום לעומת התוכנות הקיימות והזמינות לכל משתמש דרך המחשב ומכשירים חכמים אחרים.

כשאנו שואלים שאלה את המחשב בשפה אנושית, הוא לא 'חושב' את התשובה בצורה אנושית. אלא פשוט מזהה את מילות המפתח שהכנסנו לו בהקלדה או בדיבור, וסורק את מאגרי הזכרון שלו בחיפוש אחרי מקומות שבהן מילות המפתח מופיעות בסמיכות היותר גדולה זו לזו, ככל שהתוצאה תהיה מובהקת יותר, הוא יסדר אותה במקום גבוה יותר. וכך הסיכויים גבוהים שנקבל את המידע שחיפשנו. וכפי שרואים במציאות – זה עובד להפליא.

שיא היכולת בתחום זה היא הצלחתו של המחשב המכונה 'ווטסון' בשנת תשע"א לנצח את כל המתחרים האנושיים בשעשועון הטריוויה האמריקאי הנקרא 'ג'פרדי'. הנקודה המדהימה כאן היא שהמחשב נשאל בשפה 'אנושית', הוא פשוט 'שמע' את השאלות, והיה צריך קודם כל 'להבין' דיבור אנושי. לאחר מכן הוא היה צריך לענות אותן שאלות שהוצגו למועמדים, כלומר: לא שאלות מסוג 2+2, שעליהן יש לו מידע מוכן, אלא שאלות שהוא היה צריך 'להבין', ולהסיק את התשובה עליהן מתוך אנלוגיה עם המידע שיש לו, והוא עשה זאת בהצלחה כבירה.

שלוש שנים לקח למפתחי יב"מ להכין את המחשב לתחרות, ולהתגבר על קשיים שונים שהתעוררו במהלך העבודה. בסופו של דבר החל ווטסון בתחרות. לאחר מספר משחקי אימון התרחש המשחק הראשון, שנערך מול שני אלופים בתכנית שצברו עד אז את מספר הנצחונות הרב ביותר. למרות מספר מעידות מצידו של ווטסון, שבאו לידי ביטוי בכך שחזר על תשובות שגויות של מתחריו ולא 'הפיק לקחים', מחשב-העל ניצח בהפרש ניכר. גם המשחק השני והמשחק המסכם הסתיימו בניצחונות מוחצים לווטסון. IBM גרפה את כספי הזכייה, מיליון דולר, ותרמה עשרה אחוזים מהם לצדקה.

קוריוז מעניין הוא ששנה לפני התחרות המדוברת, מנכ"ל יב"מ – פלמיסאנו שמו – כמעט ביטל את הפרויקט, מאחר שלקח לווטסון 3-4 דקות לענות על שאלות, בעוד שתנאי התחרות דורשים תשובה בתוך שנייה. אך מפתחי התוכנית מיהרו להרגיע אותו: "אל תדאג, המכונה לומדת, ובתוך שנה היא תגיע לתשובות בתוך שנייה" – וכך היה!

למידה עמוקה

לסיכום: מתחולל כיום מאמץ גדול להקנות למחשב חיקוי של החשיבה האנושית. כמובן לא באופן האנושי, בתחום הזה עדיין לא נמצאה הדרך ואולי לא תימצא לעולם. אבל שיטות שונות המנסות להקנות למחשב יכולת 'חשיבה', אחת מהן נקראת 'למידה עמוקה', ואנו ניגע בנושא מרתק זה בכמה מילים, בהתבסס על מאמרו בנושא של רן לוי 'למידה עמוקה – המחשב והמוח'.

כשאנו מלמדים ילד משהו חדש, אפשר לעשות זאת בשני אופנים. האופן הפשוט יותר הוא להזין לו נתונים. כך למשל כשאנו מלמדים אותו את צורת האותיות: מראים לילד את אות א', ומלמדים אותו שזו אל"ף, לאחר מספר חזרות ושינונים הילד ילמד. כשאנו מלמדים אותו חשבון, אנו מסבירים לו ששתיים ועוד שתיים הן ארבע, ולאט לאט הוא ירכוש עוד נתונים עד שיטמיע בזכרונו את לוח הכפל. וכך הלאה.

אבל ישנו אופן אחר לגמרי, והוא למעשה הדרך בה ילדים רוכשים את רוב כישורי החיים שלהם: מטילים על הילד משימה, ואיכשהו המוח לומד לבד כיצד להתמודד עמה. לדוגמא: רכיבה על אופניים בלי גלגלי עזר. כל הורה לילד ודאי עבר את החוויה הזאת: ילדים בתחילת הדרך עדיין לא רכשו את המיומנות של שמירת שיווי המשקל על אופניים, כיצד מלמדים אותם לעשות זאת? אין מילים שיסבירו, ואין דרך להסביר. פשוט מנסים עם הילד שוב ושוב, וכל שעוזרים לו פחות להחזיק את האופניים, בסופו של דבר הוא לומד. זה משהו שהמוח – איכשהו – מבין לבד כיצד לעשות. באופן זה התינוק לומד להתהפך, לזחול, ללכת ואחר כך לדבר [בשונה מקריאה שהיא תכונה נרכשת, ובלי לימוד מן הסוג הראשון האדם לא מסגל אותה]. אחת היכולות המופלאות של המוח [ובנוגע לזה – לאו דווקא המוח האנושי] היא מה שנקרא 'למידה', התנסויות חוזרות ונשנות, גוברות והולכות, גורמות למוח ללמוד ולפתח בעצמו מיומנויות שונות, מבלי שאף אחד לימד אותו לעשות זאת.

השאלה המסקרנת שעומדת כבר עשרות שנים לפני חוקרי מדעי המחשב היא האם ניתן לחקות את הכשרון הזה של המוח. כלומר, האם אפשר להטיל על המחשב משימה, והוא איכשהו יבצע אותה לבד **מבלי שניתן לו הוראות מדויקות על כל שלב?** לשאלה זו חשיבות אדירה: יש משימות שקל יחסית לתכנת מחשבים לבצען: למשל, כל מה שצריך לעשות כדי לגרום למחשב להשמיע שיר הוא סדרה של פעולות ברורות ומוגדרות היטב, כגון לפתוח את הקובץ, לקרוא את המידע האגור בתוכו ולנגן או להפסיק את ההשמעה בתגובה ללחיצת כפתור של המשתמש. אבל יש משימות מורכבות בהרבה, שעבורן קשה הרבה יותר לנסח עבור המחשב כללים ופקודות שמגדירים לו במפורש מה הוא צריך לעשות בכל רגע נתון. למשל, אם נרצה שמחשב יוכל לנהוג במכונית, מה שנקרא 'נהיגה אוטונומית', נצטרך שהוא יוכל להגיב להמון משתנים בכל רגע נתון: מצב התנועה בכביש, הוראות הרמזורים, ובעיקר – התפרצויות של נהגים או הולכי רגל שאי אפשר לתכנן אותם מראש. האינטראקציה בין המוני הגורמים הללו מורכבת כל כך, ולכן בדרך כלל איננו מסוגלים 'להסביר' למחשב מה אנחנו מצפים שיעשה בכל רגע נתון. במקרה כזה, אין לנו ברירה אלא להשאיר את תהליך קבלת ההחלטות בידיהם של בני אדם שהוכשרו לשם כך. מחשב שיוכל לנסח בעצמו את הכללים לביצוע משימה על סמך דוגמות שיציגו בפניו – יוכל לסייע לנו באינספור תחומים שעד כה היו חסומים בפני המחשב, מרפואה ונהיגה ועד חקר החלל. לימוד באמצעות דוגמות עשוי להתאים מאוד לפתרון בעיות שקשה לפתור באמצעות הגדרת רצף של צעדים. למשל, קל להגדיר בתוכנה סדרת צעדים לפתרון משוואה מתמטית – אבל קשה הרבה יותר להגדיר סט של כללים שמאפשר לזהות פרצוף של אדם: לימוד באמצעות מתן מספר רב של דוגמאות לפרצופים אנושיים שונים ומשונים עשוי להיות פיתרון נוח יותר.

אחת הדרכים המעניינות שנראו פתרון אפשרי לשאלה זו היא רשתות הנוירונים, ועל כל בפרק הבא בעז"ה.

זיהוי פסוקים

נציג כאן קוריוז קטן המדגים קצת את היכולות שמתפתחות והולכות כבר בימינו בתחום הבינה המלאכותית בשירות התורה. תחום שנרחיב בו בעז"ה במאמר הבא.

בשבת דף ל ע"א כתוב "באותה שעה נהפכו פני כל שונאי דוד כשולי קדירה, וידעו כל העם וכל ישראל שמחל לו הקדוש ברוך הוא על אותו עון".

הלומד קורא את המשפט הזה ולא מרגיש במשהו מיוחד. בעל רגישות לשונית אולי יתמה על כפל הלשון 'כל העם, וכל ישראל'. אני בכל אופן לא שמתי גם לזה, אבל כשהכנסתי את עמוד הגמרא הזה לנקדן האוטומטי של חברת 'דיקטה', עליו ארחיב בעז"ה בפרק הבא, הוא הדגיש וניקד את המילים 'וידעו כל העם וכל ישראל' בגופן מיוחד של פסוקים. שכן הנקדן הזה יודע לזהות כל ציטוט של פסוק מהתנ"ך והוא מדגיש אותו. או אז שמתי לב שהברייטא שילבה כאן ציטוט של פסוק מספר שמואל (ב' ג, לז) בתוך דבריה. תופעה ידועה הקיימת אפילו במשנה. כעת הבנתי את פשר הכפילות 'כל העם וכל ישראל'.

מכיון שלא הוקדם כאן 'שנאמר', אף אחד לא זיהה את הפסוק הזה, שהוא גם לשון לא מוכרת, ולא תמצאו אותו מצויין ב'תורה אור' של שום מהדורת ש"ס.