

יורה מדע

גיליון להלכה, מדע וטכנולוגיה

גיליון 10 – שבת הגדול תשפ"ב

למידת מכונה (ב)

הקדמה

בגיליון הקודם התחלנו להכיר את נושא למידת המכונה, והרחבנו על שני תחומים מתוך נושא גדול זה: למידה מונחית ולמידה בלתי-מונחית. בנוסף, ראינו כמה דיונים הלכתיים בהלכות שבת, הנוגעים לתחומים אלו. בעלון זה, נכיר בהסבר המדעי תחום נוסף של למידת מכונה – למידה באמצעות חיזוקים, ונראה בחלק ההלכתי עוד דיונים הלכתיים בהלכות שבת. בעזרת ה' נמשיך בדיון ההלכתי בנושאים נוספים, בעלון הבא.

הסבר מדעי

למידה באמצעות חיזוקים (Reinforcement Learning)

למידה באמצעות חיזוקים (שנקראת גם 'למידת חיזוק') בנויה על התנסות של המחשב ולמידה מיניסיוני. המחשב יכול ללמוד בשיטה זו את הדרך לבצע פעולות שונות. כדי להבין את הרעיון, נתאר דרך פשוטה מאד למימוש שיטה זו, שדומה בקווים כלליים לחלק מהשיטות האמיתיות המשמשות עבור למידה באמצעות חיזוקים. ניקח כדוגמה מחשב ש'לומד' לשחק את המשחק 'אי-קס-עיגולי'. במשחק זה (למי שלא מכיר) שני שחקנים מקבלים כל אחד סימן שייצג אותו: האחד ייוצג על ידי 'אי-קס' (X) והשני על ידי 'עיגולי' (O). כל שחקן מסמן בתורו את הסימן שמייצג אותו ('אי-קס' או 'עיגולי') באחת המשבצות של טבלה בגודל 3 על 3 משבצות. השחקן המיוצג על ידי 'אי-קס' הוא זה שמתחיל ראשון. המנצח הוא מי שהצליח לסמן שורה אנכית, אופקית או אלכסונית שמורכבת משלשה סימונים שמייצגים אותו.

דוגמה לניצחון של 'אי-קס':

O	O	X
	X	
X		

דוגמה לניצחון של 'עיגולי':

X	O	X
X	O	
	O	

כדי לתת למחשב ללמוד בעצמו את הדרך לנצח במשחק זה, מתכנתים אותו לשחק על פי החוקים של המשחק, אך בלי לחשוב מה כדאי. כלומר, המחשב ישחק נגד עצמו בצורה שתהיה חוקית, אך חסרת כל היגיון וטקטיקה. בסוף כל משחק המחשב ייתן לעצמו ציון על הניצחון או ההפסד (ההגדרות של 'ניצחון'

ו'הפסד' יינתנו לו על ידי המתכנת), וכך הוא יבין האם שרשרת הפעולות שעשה הייתה חכמה או לא. אחרי משחקים רבים, המחשב ילמד מה הן שרשראות הפעולות המתאימות לניצחון, ויהיה מוכן היטב למשחק כנגד שחקן אחר (אדם או מחשב אחר).

אם נדייק, אין אפשרות ללמד את המחשב מה הן שרשראות פעולות המתאימות לניצחון, ולתת לו לעשות אותן, כי בכל תור הוא לא יודע מה יעשה השחקן שמשחק מולו. מה שהמחשב לומד מתוך ניסיונו הוא איזו פעולה נכון לעשות עבור כל מצב. אם ניתן למחשב לשחק נגד עצמו מספר רב של פעמים בסדר אקראי ללא חשיבה, הוא יגיע מספיק פעמים לכל מצב אפשרי של הלוח, כאשר בכל פעם הוא יבצע מהלך אחר, ומתוך הציון הסופי למשחקים שבהם הוא ביצע פעולה מסוימת, הוא ילמד מה המהלך החכם ביותר עבור צורת הלוח הספציפית.

לדוגמה, עבור לוח במצב הבא:

o	o	
	x	
x		

ישנם חמשה מקומות פנויים בלוח, והמחשב ינסה בכל פעם (בצורה אקראית) סימון 'איקס' באחד מחמשת המקומות. כמובן שהמקום הכי טוב הוא בפינה הימנית העליונה, אך למחשב אין את האינטואיציה שלנו, ולכן את העובדה הזו הוא ילמד מכך שבכל המשחקים שבהם עבור לוח במצב זה הוא בחר לסמן 'איקס' בפינה הימנית העליונה הוא ניצח, ובמשחקים שבהם הוא בחר באפשרות אחרת הוא לא ניצח תמיד. תוך כדי חזרה על המשחק פעמים רבות המחשב מתחיל 'להתמקצע' ונוטה לשחק בצורה חכמה יותר, כי הוא יודע שלצורות מסוימות של לוח המשחק יהיו מהלכים שיש סיכוי גבוה שיביאו לניצחון, ויש כאלה שיש סיכוי נמוך יותר.

לדוגמה, עבור לוח במצב הבא:

x		
o		o
x		

אין ל'איקס' דרך לנצח במהלך בודד. לנו ברר שהמקום הנכון לשים 'איקס' הוא באמצע, כדי למנוע מ'עיגול' השלמת שורה וכדי לפתוח שתי אופציות של ניצחון ל'איקס' (שני האלכסונים של הלוח), אך המחשב חסר האינטואיציה, ילמד את העובדה הזו מכך שבמשחקים שבהם הוא ניח 'איקס' באמצע, היו לו אחוזי הצלחה גבוהים יחסית לאחוזי ההצלחה שהיו לו כשהניח את ה'איקס' במקומות אחרים.

כשהמחשב יתחיל להתמקצע, הוא יוכל לשחק נגד עצמו בצורה מתוחכמת יותר ויותר, כך שהמשחקים שלו יתקרבו לרמה אנושית, וכך אחוזי ההצלחה עבור כל מהלך יהיו באמת אחוזי ההצלחה שלהם עבור משחק אמיתי נגד אדם.

אחרי הרבה משחקים, המחשב יוכל להכיל בזיכרונו את הרבה ממצבי הלוח האפשריים, כשעבור כל מצב כזה הוא יכיל בזיכרונו את כל האפשרויות למהלך הבא, ואת הסיכוי לניצחון עבור כל מהלך כזה. כאשר המחשב ישחק כנגד שחקן אחר, הוא תמיד יבחר את הפעולה בעלת הסיכוי הגבוה ביותר לניצחון בתור הפעולה הבאה.

לפעמים נרצה שהמחשב ילמד לעשות פעולה שאינה תלויה בשחקן שמתמודד מולו, אלא רק בתנאי סביבה. לדוגמה: לימוד של הדרך להוליך רובוט על גבי משטח לא ישר, כך שיגיע לנקודה מסוימת. כדי לממש את הרעיון של 'למידה באמצעות חיזוקים' עבור צורך כזה, אפשר לתת לו להניע את מנועי הרובוט פעמים רבות בסדרה אקראית של הפעולות. בסוף כל סדרת הפעולות המחשב ייתן לסדרת הפעולות ציון, בהתאם לתוצאה שהיא הביאה (עד כמה הרובוט הגיע קרוב לנקודה הרצויה), בהתאם למהירות שבה הצליח הרובוט להגיע לתוצאה ובהתאם להספק הסוללה שהרובוט צרך עבור התוצאה. אחרי ביצוע כמות מסוימת של ניסיונות,

תהיה למחשב אינדיקציה מה סדרות הפעולות המתאימות, כי תהיינה כמה סדרות בעלות ציון גבוה יותר מהאחרות, וכך הוא יוכל להתמקד בניסיון של סדרות פעולות דומות יותר לסדרות המוצלחות יחסית שהוא כבר מצא. כשהמחשב יגלה סידרת פעולות בעלת ציון מספיק גבוה (לפי הגדרת המתכנת מה הוא ציון מספיק גבוה) המחשב ישתמש בה מכן והלאה כדי לבצע את המשימה. בגלל שתמיד יכולה להיות סדרה טובה יותר, יהיו מתכנתים שיעדיפו לתת לרובוט להמשיך ולהתנסות, באמצעות הכנסת שינויים אקראיים נקודתיים בסדרה המוצלחת, כך שאולי יצליח לגלות סדרה טובה עוד יותר.

כמה מילים לסיום ההסבר המדעי

בהסבר המדעי שראינו בגיליון הקודם ובגיליון זה, למדנו טיפה מתוך הים הגדול של מימושים שונים לשיטות שונות של למידת מכונה, בלי לגעת ב'למידה עמוקה'. בגלל שכיום כמעט אין מערכות למידה שלא מעורבת בהן 'למידה עמוקה' ברמה זו או אחרת, אי אפשר לפסוק הלכה למעשה בהתאם למה שראינו.¹ עם זאת, קיבלנו טעימה של מהמושגים, והבנו דבר חשוב: לא מדובר על נס או כישוף, אלא על שיטות של גיבוש דפוס פעולה, שאינן בנויות בצורה מדויקת מראש לפי הוראות מתכנת, אלא מבוססות על נתונים שונים וניתוח מתמטי שלהם, כך שתיבחר הדרך הטובה ביותר לפעול. הדברים יהוו בסיס לדיון עתידי בעזרת ה' בנושא הלמידה העמוקה ונושאים נוספים הנמצאים תחת ה'מטריה' של נושא הבינה המלאכותית.

בכתבת ההסבר המדעי בגיליון זה נעזרתי בין השאר בסיכומים של הרצאות ששמעתי

במרכז האקדמי לב ובאתר ויקיפדיה (בעברית ובאנגלית).

דיון הלכתי

אמירה בשבת למערכת המבוסס על למידת מכונה

מערכת יכולה 'ללמוד' מצבים שונים שבהם אדם מצווה אותה לעשות דברים שונים, ולגבש צורת פעולה בהתאם לכל ציווי. לדוגמה, היא תדע להפעיל מיחס, להוציא כוס ולשפוך בה מים חמים וקפה, כדי להכין קפה, כאשר אדם יצווה עליה. היא גם תוכל לדעת כמה קפה וכמה סוכר להכניס בכמות המועדפת על ידי האדם המצווה, שאת זהותו היא תגלה באמצעות תוכנת זיהוי קול. הדלקת המיחס תיעשה באמצעות הפעלת ממסרים (מפסקי מתח גבוה המופעלים על ידי מתחים נמוכים) והכנת הקפה תיעשה באמצעות הפעלת מנועים בפיקוד המחשב, כך שיזיזו חלקים נעים שישפכו את הכמות הרצויה מכל מרכיב ואחר כך יערבבו את המרכיבים.

אפשר אולי לחשוב, שבגלל שהמערכת אינה יהודי החייב במצוות, יהיה אפשר להתייחס לאמירה אליה כ'אמירה לגוי' לכל דבר, אך נראה שהדבר אינו נכון. גוי הוא בעל בחירה, והאמירה אליו אינה כי אם העברת אינפורמציה שהיהודי חפץ שיעשה דבר מה. הגוי יחליט אם ברצונו לעשות את המלאכה או שלא, ולכן היא מתייחסת אליו. לעומת זאת, מערכת מבוססת למידת מכונה היא חסרת בחירה. האמירה אליה מזיזה ממברנה זעירה במיקרופונים שלה, ובהתאם לאופי גלי הקול של האומר ייווצרו גלים חשמליים במיקרופון. אם הגלים יהיו מהצורות הנכונות, המערכת תפעל בהתאם למה שהיא כבר 'מתוכנתת' לעשות בעקבות תהליך הלמידה שהיא עברה. מהבחינה הזו, הדבר דומה יותר ללחיצה על כפתור כך שיפעיל מכונה.²

¹ כל הדיונים ההלכתיים בגיליון הקודם, בגיליון הזה ובגיליון הבא, יהיו הלכה ולא למעשה מהסיבה הזו, למרות שבהחלט יכול להיות שההתייחסות ההלכתית לא תשתנה מאד כשנדון בלמידה עמוקה.

² להרחבה, ראה: תחומין (כרך מ, עמ' 371).
אתיחס בקצרה לנקודה אחת במאמר הנ"ל. במאמר הובאה דעת הרב ישראל רוזן זצ"ל (שנכתבה במקור במאמרו בתחומין כרך טו), הסובר שדווקא אם האדם אחז בחפץ שעליו משפיע דיבורו, נחשבת תוצאת הדיבור כמעשה. דבריו לכאורה אינם מסתדרים עם המקורות שהביא הרב רייזמן, ואף הרב רוזן, במאמר שבו הוא כתב את שיטתו (בתחומין כרך טו) הביא מקורות הסותרים את שיטתו.

הראיה שהוא הביא לדבריו היא מהלכה בשולחן ערוך (ח"מ, סימן תכ, סעיף כה):
צעק באזנו וחרשו, פטור מדיני אדם וחייב בדיני שמים. אחזו ותקע באזנו וחרשו...נותן לו דמי כולו...

על כך כתב הסמ"ע (בס"ק כו):
פטור מדיני אדם כו'. דכל שלא אחזו לעשות מעשה בגופו גרמא בעלמא מיקרי, ומי"מ חייב בדיני שמים כיון שנחרש בסיבתו:

אמנם, כפי שאמרנו בגיליון הקודם, יש למערכת טעויות, ולא וודאי שהיא תבצע את הציווי. אבל אין הדבר נובע מתוך בחירה, אלא מתוך דברים לא צפויים באופן קבלת ההחלטות של המערכת, כפי שהיא גיבשה תוך כדי תהליך ה'למידה'. כמו כן, כפי שכבר ראינו בגיליון הקודם, חוסר הוודאות הזה לא משנה מבחינה הלכתית, אם יש למי שמצווה את המערכת כוונה שהמערכת תפעל לפי ציוויו. אי-וודאות יכולה להוות גורם לקולא רק כשאין כוונה לתוצאה האסורה, כי רק ב'דבר שאין מתכוון' יש מקום לחלק בין 'פסיק רישיה' ל'אינו פסיק רישיה'.

כמו כן, נראה שהעשייה על ידי דיבור ולא בידים ממש, לא תיחשב כעשייה בשינוי (שאינה אסורה מדאורייתא אלא מדרבנן), כי כאשר כלים אלו יתפשטו בעולם, לא יהיה בכך כל שינוי. אפשר להביא הוכחה לכך שהגדרת שינוי תלויה במנהג הנפוץ, מדברי הריטב"א (שבת, דף צב, ע"ב³) לגבי הוצאת דברים מרשות לרשות בשבת, כשהם על ראשו של המוציא במקום בידיו:

והנכון דכל שהוא מנהג משונה לכל העולם ומפני [שהוא משונה לא] היו נוהגים כן כגון הא דהוצל⁴, אף לדידה לא מהני מנהגא ובטלה דעתם אצל כל אדם, וכשהמנהג אינו משונה והיו ראויים לנהוג בו שאר מקומות ואין נוהגים בו מפני [שלא רצו לנהוג כן, מהני] מנהגא למקום שנוהגים בו לבד. יש לציין, שאם בעקבות האמירה למכונה היא מבצעת שרשרת פעולות, ולא פעולה בודדת (לדוגמה: חימום מים ואחר כך בישול קפה), התייחסות הפעולות שבהמשך אל האדם נתונה במחלוקת אחרונים. לפי דעת הגרצ"פ פראנק (הר צבי, יו"ד, סימן קמג) תוצאת תהליך ארוך המתחיל בידי אדם (כמו הנחת קורות שילחצו על פירות כך שהפירות ייסחטו לאט) נחשבת כגרמא, אך מתחייבים עליה בשבת. עם זאת, במקרה שלנו, שבו התהליך מורכב מכמה מלאכות שונות, אפשר שהגרצ"פ יודה שלא מתחייבים על המלאכות שבהמשך. לעומתו, החזון איש (או"ח, סימן לו, אות א) סובר שכל המשך שרשרת הפעולות נחשבת כמעשה האדם.

הנאה ממלאכה שנעשתה על ידי מערכת למידת מכונה

סוגיה נוספת הקשורה למלאכות שעושה נכרי בשבת, ומשליכה על מערכות למידת מכונה, היא סוגיית ההנאה ממעשה נכרי. במקרים שונים אסרו חז"ל להנות ממלאכה שעשה נכרי בשבת ויו"ט, אף שעשאה שלא בציווי היהודי, מחשש שמא יבוא היהודי לצוות את הגוי⁵.

כפי שראינו בשבוע שעבר, ישנם מצבים שבהם מותר לאדם לעשות מעשה שעלול לגרום למערכת מבוססת למידת מכונה לעשות מלאכה. כמו כן, בעקבות טעויות שונות במערכת השיקולים שהמחשב בנה לעצמו, הוא עלול לבצע מלאכה מעצמו ללא כל פעולה של האדם. לאור האיסור להנות ממלאכת גוי, יש לשאול האם יהיה מותר להנות ממלאכה זו, שנעשתה ללא שעבר היהודי על אף איסור?

מצד אחד, יש מקום לאסור בקל וחומר מאיסור הנאה ממלאכת נכרי, כי אם בעקבות הנאה ממלאכת נכרי יש חשש שיאמר לנכרי לעשות מלאכה, קל וחומר שיש לחשוש במערכת לומדת, שהדרך הרגילה בכל השנה לבצע באמצעותה מלאכות היא הדיבור. מצד שני, בגלל שההרגשה של האדם היא שכאשר הוא מצווה את המכונה לעשות פעולה כל האחריות היא עליו, כי המערכת אינה בת בחירה, אולי החשש שמא יבוא לעשות זאת הוא קטן יותר מהחשש שיבוא לומר לנכרי לעשות מלאכה, מתוך הרגשה שהמעשה הוא לגמרי של הנכרי.

מכאן למד הרב רוזן זצ"ל, שלולי אחיזה בדבר שעליו השפיעה השמעת הקול, אין התוצאה נחשבת כמעשה האדם, אלא כגרמא. מכל מקום, מצווה ליישב בין מקור זה למקורות האחרים שמהם נראה אחרת. יש לציין שבערוך השולחן (שם, סעיף לג) ביאר את הדבר:

זה שנתבאר דתקע באזנו וחרשו חייב זהו דוקא כשאחזו בגופו או בבגדיו ותקע באזנו אבל אם לא אחזו אלא צעק נגד אזנו וחרשו אינו חייב אלא בדיני שמים דגרמא הוא כיון שלא עשה מעשה בגופו אבל באחזו בגופו אף שלא תקע באזנו כלל אלא הכה על הכותל כנגד אזנו ונתחרש חייב [סמ"ע] ואף על גב דבנזקי בהמה חשבינן את הקול למעשה כמו תרנגול שתקע בכלי ושרבו דמשלם כמ"ש בסי' ש"ץ מ"מ באדם הוי קול גרמא דהוא בר דעת ומעצמו נבעת [קידושין כ"ד ב]:

החסבר שהביא ערוך השולחן למעשה כתוב כבר בגמרא קידושין, כפי שהוא ציין, והוא מופיע גם במסכת בבא קמא (דף צא, ע"א).

לפי הסבר זה, ברור שדיבור אל מיקרופון, שאינו בר דעת ובר בחירה, נחשב מעשה גמור, גם אם לא אווזים בו בשעת הדיבור.

³ עיין שם גם בתוספות ובר"ן.

⁴ שהיו לוקחים חפצים על ראשם ממקום למקום.

⁵ ריכוז המקרים הללו נמצא בשולחן ערוך (או"ח, סימן שכה וסימן תקטו).

על פניו, נראה לעני"ד שיש לאסור, כי המציאות מראה שבסוגיות דומות לסוגיה זו נפוצה מאד תופעת 'המדרון החלקלק', שעלול להביא אנשים לפרוץ את גדר השבת, מתוך שחיקה ביחס של האדם כלפי השימוש בכלים כגון אלה בשבת⁶.

סיכום

בגיליון זה הכרנו את ה'למידה באמצעות חיזוקים', שבשונה מהשיטות שראינו בגיליון הקודם, בנויה על כך שהמחשב לומד מהטעויות של עצמו, תוך כדי תנועה, ולא לומד נתונים יבשים שהוכנסו לזכרונו. ראינו שדין אמירה למכונה 'לומדת' יהיה חמור יותר מאמירה לנכרי, אך לא ברור שכל שרשרת הפעולות שהמערכת תעשה בעקבות האמירה תיחשב כמעשהו של האומר. ראינו בקצרה דיון לגבי הנאה ממלאכה שעשתה מערכת למידת מכונה, שעלולה להיות אסורה, אף שלא נגרמה בעקבות איסור שהאדם עשה, כמו שאסור במקרים שונים להנות ממלאכת נכרי, אף אם לא ציווהו יהודי לעשות את אותה המלאכה.

להערות, לתגובות ולקבלת העלון בדוא"ל:

yore.mada@gmail.com

⁶ מקור נוסף שאפשר ללמוד ממנו לאסור הנאה מפעולה שנעשתה ללא כוונת היהודי, הוא האיסור להנות ממשקים שזבו מאליהם מפירות שונים, במקרים מסוימים (ראה שלחן ערוך, או"ח, סימן שכ, סעיף א).