

אדם מול מכונה: בינה מלאכותית יוצרת ומלחמה גרעינית

המחסור בכמות ובאיכות הנתונים מציב מכשול מהותי להטמעה של בינה מלאכותית בתחום הביטחון. השימוש בבינה מלאכותית צריך להיעשות לצד מנגנוני בקרה ופיקוח אנושי ומתוך הימנעות מהסתמכות יתרה על הטכנולוגיה. לצד היתרונות הרבים של הבינה המלאכותית, היא עדיין לא בשלה להחליף את שיקול הדעת האנושי בתחומים מורכבים ובעלי השלכות מהותיות לביטחון ולאסטרטגיה מדינית וצבאית



ממשק במ"י. הפיתוי להסתמך על טכנולוגיית "בינה מלאכותית יוצרת" עלול לגרום טעויות הרות גורל ולהעלות את הסיכון להסלמה. נוצר על ידי: Adobe firefly

הפיתוח של במ"י - בינה מלאכותית יוצרת (Generative Artificial Intelligence) - הוביל לציפיות מרקיעות שחקים לגבי הפוטנציאל היישומי של הטכנולוגיה פורצת הדרך. האם הטמעה של טכנולוגיות במ"י במשחקי מלחמה תעזור למנוע מלחמה גרעינית?

אנו טוענים שההתלהבות מטכנולוגיית במ"י מופרזת ומזיקה. בעוד חוקרים רבים עוסקים בסיכונים האתיים שעולים משימוש בבינה מלאכותית בתחום הביטחון וההגנה, אנחנו

מדינאים ומטות צבא חייבים להיערך לתרחישי קיצון, ובראשם מתקפה גרעינית. למרות התקווה שעלתה לאחר סיום המלחמה הקרה ושלפיה נשק גרעיני יהפוך לנחלת העבר, האיום הגרעיני מחריף ומתרחב. האיום גובר גם במזרח התיכון, וישראל מוכרחה להתכונן לאפשרות שאיראן תפתח יכולות גרעיניות ולהשלכות האסטרטגיות של הטלת פצצה איראנית על ישראל והאזור. משחקי מלחמה הם כלי נפוץ המשמש לאימון, הכנה ושיפור קבלת החלטות במצבי לחץ וסיכון גבוה. לאחרונה,

ד"ר זואי לוורניק, מומחית לביטחון ומדיניות גרעין וטכנולוגיות חדשות, חוקרת במרכז עלמא



ד"ר ליאור טבנסקי, ראש פיתוח מחקר במרכז למחקר הסייבר הבינתחומי ע"ש בלווטניק, אוניברסיטת תל אביב



משחקי מלחמה.⁹ ארגוני מחקר וביטחון כמו נאט"ו וראנד כבר מקדמים תוכניות מחקר לשילוב טכנולוגיית הבינה המלאכותית המתקדמת ביותר במשחקי מלחמה המדמים מלחמה גרעינית אסטרטגית או טקטית, בציפייה שזה יעזור לשפר את תהליך קבלת ההחלטות, לחשוף כשלים בדוקטרינות צבאיות ולפתח אסטרטגיות אפקטיביות¹⁰

מה מיוחד בבינה מלאכותית יוצרת

יישום מוצלח של טכנולוגיה תלוי בהבנת המגבלות והתנאים להצלחה. מבחן הערך של בינה מלאכותית הוא ביכולת של מודל AI להציע תחזיות, להקיש או להוציא מסקנות (inference), מנתונים חדשים. במ"י היא הטכנולוגיה המתקדמת ביותר שמבוססת על למידת מכונה (Machine Learning - ML). ההבדל העיקרי בין בינה מלאכותית ובין במ"י (בינה מלאכותית יוצרת) הוא שמערכות בינה מלאכותית יכולות לנתח מידע ולתת תחזיות על סמך מידע זה, ואילו מערכות במ"י יוצרות מידע חדש - מלל, קוד, תוכנה, קוד ביולוגי, תמונות, סרטונים וצללים - בהתבסס על הנתונים ששימשו לאימון המערכת (Marr, 2023, Aug. 23).¹¹ במ"י פועלת כמעין כלי השלמה אוטומטי מתקדם שחווה את המילה או רצף המילים הבא על סמך דפוסים שנצפו. הממשק קל ועובד באמצעות הנחיות (Prompt) פשוטות, בשפה טבעית.

מדינאים ומטות צבא חייבים להיערך לתרחישי קיצון, ובראשם מתקפה גרעינית. למרות התקווה שעלתה לאחר סיום המלחמה הקרה ושלפיה נשק גרעיני יהפוך לנחלת העבר, האיום הגרעיני מחריף ומתרחב. האיום גובר גם במזרח התיכון, וישראל מוכרחה להתכונן לאפשרות שאיראן תפתח יכולות גרעיניות ולהשלכות האסטרטגיות של הטלת פצצה איראנית על ישראל והאזור

יישומי מודלי שפה גדולים (LLMs) במדעי החיים, שירותים פיננסיים, לוגיסטיקה, שירות לקוחות, קמעונאות, פיתוח תרופות ועוד כבר הפיקו תוצאות מעוררות השראה. בתחום הרפואי למשל MedPaLM-2, עבר את בחינת הרישוי הרפואי בכתב של ארצות הברית.¹² במ"י הפגינה יכולת לזהות תסמינים, לבחון ממצאים מבדיקות המטופל, ליצור התאמה בין תלונות ובין בדיקות המטופל לתסמינים, לבחור אבחנה (דיאגנוזה) באופן מנומק, ולהציע למטופל טיפול מתאים. בתחומי הביטחון, בינה מלאכותית משמשת לניתוח כמויות עצומות של נתונים דיגיטליים וזיהוי דפוסים ומגמות.¹³ יישומי בינה מלאכותית בביטחון גרעיני כוללים מיון וניתוח חוזי (למשל, תמונות לוויין) לזיהוי שינויים ומתן התרעה, תכנון

מצביעים על שני מכשולים טכניים מהותיים. מבחינה מדעית-הנדסית, שני הפערים המהותיים בתחום הביטחון והמלחמה הגרעינית הם המחסור החריף בנתונים, והיעדר צמדי קלט-פלט ברורים בגוף הידע. שניהם מבטלים את הסבירות שמערכת במ"י תצליח ללמוד, קל וחומר לספק תובנות בעלות ערך לביטחון גרעין. הפיתוי להסתמך על טכנולוגיית במ"י עלול לגרום טעויות הרות גורל ולהעלות את הסיכון להסלמה.

איום גרעיני חדש-ישן

הסיכון למתקפה גרעינית מוגבלת¹ גובר בכמה מהסכסוכים.² מאז פרוץ המלחמה בין רוסיה ובין אוקראינה, ההנהגה הרוסית איימה לא פעם כי תעשה שימוש בנשק גרעיני טקטי במטרה להרתיע את המערב. השימוש בנשק זה הוא חלק מדוקטרינת הביטחון הרוסית.³

איראן ממשיכה להתקדם בנחישות בדרך להפוך למדינת סף גרעינית. שתי התקיפות הישירות של איראן על ישראל במאות טילים וטב"מים, באפריל ובאוקטובר 2024, מסמלות עליית מדרגה באיום שאיראן מטילה על ישראל והאזור. אומנם ישראל הצליחה להנחית מהלומות ניצחות על חזבאללה, ובהמשך, קריסת משטר אסד בסוריה הביאה להיחלשות הציר האיראני. ואולם מכאן שבעיני האייתולות, הצורך בהרתעה גרעינית הפך חיוני מתמיד. אם איראן תהפוך למדינה גרעינית סביר מאוד שערב הסעודית, טורקיה ומצרים יחלו לפתח נשק גרעיני.⁴

היכולת הגרעינית של קוריאה הצפונית מסכנת את סיאול ואת טוקיו. כל מתקפה גרעינית על שכנותיה עלולה לגרום את ארצות הברית ואת רוסיה למלחמה גרעינית.⁵ גם הסכסוך בין פקיסטאן ובין הודו יכול להסלים בכל עת, כששתיהן מאיימות תדיר בנשק גרעיני טקטי.⁶

בינה מלאכותית ומשחקי מלחמה

משחקי מלחמה הם כלי שימושי וחשוב עבור צבאות ומקבלי החלטות לאימונים והכשרה, לבחינה של תרחישים, לשיפור המוכנות ולייעול ביטחון הגרעין. לפי מכון ראנד, משחקי מלחמה הם משחקים אנליטיים המדמים היבטים של לוחמה ברמה הטקטית, המבצעית או האסטרטגית. הם בוחנים מושגי לחימה, מאמנים ומחנכים מפקדים ואנליסטים, בוחנים תרחישים ועושים הערכות ביצועים.⁷ משחקי מלחמה מאפשרים לבחון כיצד התנהגויות ובחירות של שחקנים משפיעות על תוצאות פוטנציאליות, והם שימושיים במיוחד בבחינת תרחישים של מלחמה גרעינית מכיוון שמדובר בתרחישים בסיכון גבוה במיוחד, שבהם החלטות צריכות להתקבל בפרק זמן קצר, תחת לחץ רב וללא ניסיון עבר.

לפי מחקרים כמו "Project on Nuclear Gaming",⁸ יתרונות הבינה המלאכותית יכולים לשפר את הביצועים של



משחקי מלחמה. שימושיים במיוחד בבחינת תרחישים של מלחמה גרעינית. נוצר על ידי: Adobe firefly

אבחון, המלצות לטיפול ומרשמי תרופות. **אימון המערכת באמצעות בחינה של צמדי קלט-פלט שהמערכת זיהתה ואימצה, ותיקון לפי הצורך.** הלימוד יצליח רק אם המערכת תזהה צמדים וקשרים בין סוגים ברורים של נתונים (למשל, צילומי ממוגרפיה עם סימני סרטן לעומת בדיקות תקינות). לפני שמדברים על יעילות ואמינות המערכת בביצוע המשימה, צריך לוודא שקיימת היכולת לסווג נתונים לקבוצות (classification). במקרים מסוימים נדרשת מעורבות אנושית בהגדרת הפרמטרים, כך שיבטאו ערכים חברתיים מועדפים. השיטה העיקרית היום היא Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF). "יתכנו תחומי יישום שבהם חסרים תבחינים ברורים החיוניים לסיווג המידע ועיבודו.

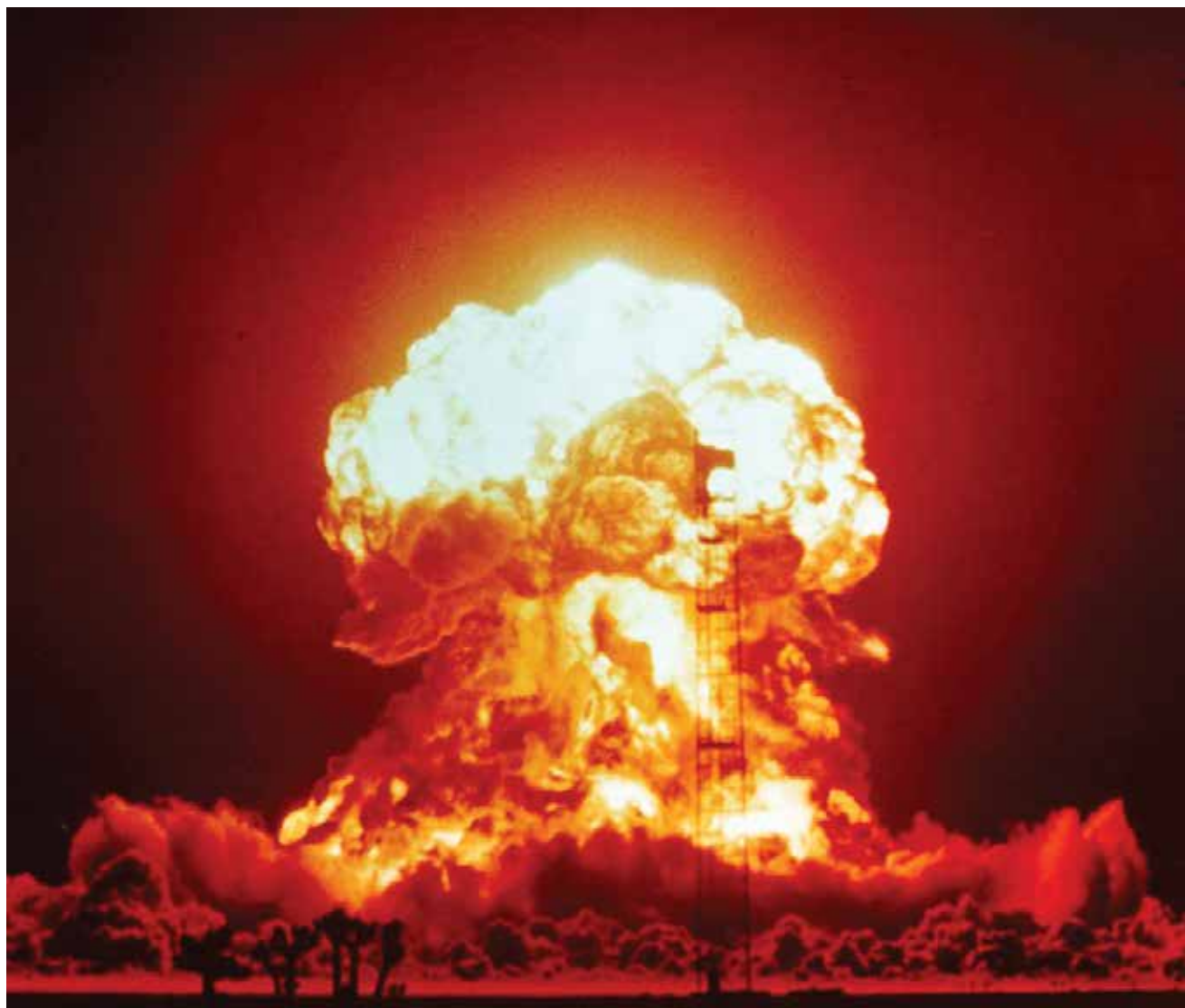
ההבדל העיקרי בין בינה מלאכותית ובין במ" (בינה מלאכותית יוצרת) הוא שמערכות בינה מלאכותית יכולות לנתח מידע ולתת תחזיות על סמך מידע זה, ואילו מערכות במ" יוצרות מידע חדש - מלל, קוד, תוכנה, קוד ביולוגי, תמונות, סרטונים וצללים - בהתבסס על הנתונים ששימשו לאימון המערכת

מבצעים (למשל, הדמיות של נזק משימוש בנשק גרעיני נגד מטרות שונות) וחקר ביצועים של מערכות נשק ומערכות תומכות (למשל, בחינה של השפעות קרינה ושיפור העיצוב והתחזוקה של ראשי נפץ).¹⁴

בהפשטה, הביצועים המרשימים של במ" כאן ובתחומים אחרים הם תוצאה של שלושה מרכיבים:

יצירה ואימון של מודל שפה גדול, תוך שימוש במסדי נתונים גדולים מאוד. במ" לומדת עצמאית, ללא הנחיה אנושית, תוך שימוש במאגרי נתוני ענק. הדור הנוכחי של כל LLM צרך למעשה את כל המידע הזמין במרשתת לאימון, למד לשלוט בשפה, ולכן יכול לייצר תשובות בכל נושא.

אימון המערכת הכללית על מאגרי מידע גדולים בתחום הספציפי. היישום נועד לתחום הרפואי, ולכן כדאי להוסיף יכולות מתחומי דעת אחרים ולהעמיק את היכולות הרלוונטיות כמו אבחנה והתאמת טיפול. כמו ב-MedPaLM, למודל השפה הכללי מוסיפים אימון על ספרי לימוד, מחקרים קליניים ומאמרים מדעיים בכל תחומי הרפואה. בתוך כך אפשר לבנות יישומים ייעודיים. למשל, אימון על מאות אלפי תמונות של צילומי ממוגרפיה, צילומי רנטגן של ידיים שבורות, סריקות סייטי וכדומה בשילוב אבחנות וטעויות; תיקים רפואיים בשפה טבעית בשילוב נתונים כגון תוצאות בדיקות דם, קוד



כדור אש גרעיני מאיר את שמי הלילה בעת ניסוי גרעיני בארצות הברית. איראן ממשיכה להתקדם בנחישות בדרך להפוך למדינת סף גרעינית. צילום: ויקיפדיה

הקיימים על מלחמה גרעינית אסטרטגית אינם קרובים לקנה המידה הנדרש כדי לאמן את המודל. כמות הנתונים על מלחמה גרעינית טקטית מוגבלת אפילו יותר. חלק גדול מהספרות על מלחמה גרעינית אינו עדכני מכיוון שנכתב במהלך המלחמה הקרה והתמקד בארצות הברית וברית המועצות, ובמלחמה גרעינית אסטרטגית. מעט מאוד נכתב על מתקפה גרעינית טקטית או על סכסוכים בין מדינות גרעין בדרום אסיה או במזרח התיכון.

מאידך גיסא, יש הרבה יותר נתונים אמפיריים בתחום הטכני: רדיוס הפיצוץ, עוצמת גל ההדף, היקף הקרינה ועוד מאות סוגי נתונים שנאספו בניסויים אמיתיים והדמיות מחשב. ואולם נראה שהיקף הנתונים הטכניים עדיין קטן באופן ניכר ממה שדרוש לאימון מודלי שפה: נתוני עתק. יתרה מזו, אתגר נוסף בתחום נובע מכך שחלק גדול מהנתונים הקיימים מסווגים, מה שמצמצם עוד יותר את כמות הנתונים הזמינים לאימון הבמ"י.

מאמר שפורסם בכתב העת היוקרתי Science מציג את התנאים הנדרשים ליישום מוצלח של בינה מלאכותית. בריינג'ולפסון ומיטשל¹⁵ מציגים שמונה קריטריונים הדרושים ללמידת מכונה להשלמת משימה. אף אחד מהקריטריונים הללו לא קיים בתחום המחקר של מלחמה גרעינית. מבחינה מדעית-הנדסית, מחסור חריף בנתונים והיעדר צמדי קלט-פלט ברורים הם שני הפערים המהותיים בתחום הביטחון והמלחמה הגרעינית.

אין נתונים לאימון בנושא ביטחון הגרעין

האנושות מעולם לא חוותה מלחמה גרעינית אלא שימוש בודד בנשק גרעיני בזמן מלחמה. הספרות שפותחה מאז 1945 על המדע, הטכנולוגיה, הפילוסופיה וההשלכות של שימוש בנשק גרעיני עשויה להיראות מסיבית עבור בני אדם, אולם במונחים של אימון בינה מלאכותית היא אינה מספקת.¹⁶ כמות הנתונים



אסטרונאוט רוכב על סוס. נוצר בתהליך טקסט לתמונה (txt2img). "ישומי במ"י משגשים בתחומים רבים ושונים אבל על קהילת הביטחון לאמץ ביקורתיות יתר בנוגע ליישומיה בתחום הגרעין. מקור: ויקיפדיה

אין הסכמה על צמדי קלט-פלט

הצלחת ביצועי במ"י תלויה לא רק בכמות הנתונים אלא גם באיכותם. הנתונים שבהם משתמשים לאמץ את המודל חייבים להכיל צמדי קלט-פלט, שמהם המודל יכול להסיק קשר בין סיבה לתוצאה ולייצר תחזיות בהתאם. חוסר הוודאות בנוגע לקשרי הגומלין בין הנתונים או לגבי סיבה ותוצאה במלחמה גרעינית הוא מכשול מהותי ליישום מוצלח. צמדי הקלט-פלט הלא טכניים הם בעצם פרשנויות, השערות ותאוריות שמעולם לא נבחנו. גוף הידע כולל שלל טיעונים סותרים שהספרות בתחום מציגה כחלק משיח תאורטי. לדוגמה: מומחים חלוקים לגבי מה שיקרה לאחר השימוש הראשון בנשק גרעיני.

האם תקיפה גרעינית תוביל בהכרח להסלמה בלתי נמנעת, עד מלחמה גרעינית כוללת? או דווקא החשש מהשמדת האנושות יאפשר תגובה מוגבלת: תגובה קונוונציונלית ללא תגובה גרעינית, חוסר תגובה או עצירת ההסלמה באמצעים דיפלומטיים? הרבה תלוי בנסיבות, בעיתוי, בשחקנים, בתפיסה של מקבלי ההחלטות ואפילו במזל. מצבים כאלה לא מתאימים ללמידת מכונה.

ככלל, מודלי השפה הקיימים נטולי יכולת להבין את ההקשר או לנמק איזו פעולה תוביל לאיזו תגובה, בכל תחום, והידע בתחום הגרעיני חסר במיוחד. חלק גדול מהחשיבה האסטרטגית בנושא מתבסס על ציוויים חברתיים ונורמטיביים. האם המודל

יכול להבין ולהסביר את ההיגיון מאחורי מושגים כמו "הטאבו הגרעיני" או "נורמת אי-ההפצה"¹⁷ האם הוא יכול ליישם אינטואיציה אנושית, תחושת בטן ותחושת אחריות מוסרית בניתוח שלו? מודלים מופשטים שמנסים להסביר תופעות מסובכות, כמו שיתוף פעולה בין-לאומי או דפוסי הסלמה גרעיניים, עלולים לא להביא בחשבון את הגורמים האנושיים המניעים את תהליך קבלת ההחלטות בסיטואציות מורכבות.¹⁸ יתרה מכך, ברינג'ולפסון ומיטשל¹⁹ טוענים כי מערכות בינה מלאכותית לא מתאימות למצבים הדורשים הסבר של תהליך קבלת ההחלטות. גם בטכנולוגיית הבמ"י שפותחה לאחרונה אין-ספור דוגמאות ממחישות שתהליך הפקת המסקנות והתוצאות של המכונה נשאר בגדר קופסה שחורה אפילו עבור מתכנני המערכת. באסטרטגיה צבאית וגרעינית, הבנה של תהליך קבלת ההחלטות היא קריטית.

הטיות

חוקרים זיהו שבינה מלאכותית נוטה להסלים כמעט כל סכסוך למלחמה גרעינית. אנני ג'ייקובסון, למשל, מצאה שכל משחק מלחמה גרעינית אמריקני ששוחק על ידי מחשבים או בינה מלאכותית הסתיים בהסלמה ושואה גרעינית.²⁰ מצד שני, שחקנים אנושיים (מומחים בעלי ניסיון באסטרטגיה צבאית או דיפלומטיה) נמנעו מלחצות את הסף הגרעיני נגד יריבים גרעיניים ולא גרעיניים.²¹ הנטייה הזו לא מפתיעה. רוב רובה של הספרות בתחום מתמקדת בהסלמה למלחמה גרעינית כוללת, ואין כמעט בנמצא ספרות שעוסקת במלחמה מוגבלת ובמניעת הסלמה למלחמה כוללת. מערכת שלומדת מנתונים כאלה לא צפויה לסטות מהדפוסים שגילתה.

אשליית הוודאות וביטחון הגרעיני

באופן פרדוקסלי, נראה שבמ"י תעבוד בהצלחה גם בתחום הביטחון הגרעיני. הניסיון מראה שבהינתן הנחיות מוגדרות במ"י תפיק טקסטים נהירים, תציין מקורות מידע, ותספק תשובות הגיוניות. זו אולי הבעיה החמורה ביותר. הרי במ"י לא תדע לזהות פערי ידע או להתריע על חוסר הכשירות שלה.

התוצרים ישדרו אמינות וודאות. בתחום הגרעיני, אם במ"י מאומנת על טקסטים מתקופת המלחמה הקרה שעוסקים ברובם בהסלמה, היא תייעץ להסלים. בני אדם יתקשו לזהות את ההטיה בתובנות שיתקבלו, ועלולים ללכת שולל אחרי אשליות המכונה שיכולות להוביל לקבלת החלטות מוטעות. זה לא אתגר זמני שייפתר עם התפתחות הטכנולוגיה. זה מאפיין מובנה. אין צפי לשינוי בעתיד הנראה לעין.

מחקר נוסף בתחום עשוי להביא לפריצות דרך. דרך אחת להתגבר על מחסור בנתונים, לפחות בחלק מהתחומים, היא יצירת נתונים סינתטיים מותאמים לתחום לאימון המודל. ייתכן שהגישה מתאימה להיבטים טכניים בתחום הגרעיני, כמו למשל מדדים שונים והשפעות של פיצוץ גרעיני, ביצוע, דיוק, השפעה של תנאי מזג אוויר וכדומה. אפשר להשתמש בנתונים הקיימים מניסויים (אמיתיים וסימולציות מחשב) כדי להשיג תיקוף גבוה (בתנאי שיש גישה לנתונים מסווגים בנושא). עם זאת, אי אפשר לייצר נתונים סינתטיים עבור ההיבטים הלא טכניים של מלחמה גרעינית, כמו מערכות הפיקוד והבקרה הגרעיניות, ניווט בשלבי הסלמה, תהליך קבלת החלטות בזמן

משבר וכדומה. כמות המשתנים גדולה מדי, אפשריות הפעולה רבות מדי כדי לבנות צמדי קלט-פלט, וההתנהלות האנושית יכולה להיות בלתי צפויה. ייתכן שבעתיד הרחוק אפשר יהיה לעשות שימוש רחב יותר בנתונים סינתטיים אך נכון להיום מדובר בפתרון מוגבל בלבד.

תחום מחקר נוסף שכדאי לבחון הוא Zero Shot Learning ו-Few Shot Learning שמפתח גישות במ"י למזעור נתונים לאימון.²² עוד תחום חשוב שעדיין לא פוצח הוא Explainability and Interpretability. תחום זה בוחן את "הקופסה השחורה" של הבינה המלאכותית ומנסה להסביר את תהליך קבלת ההחלטות של מודלים גנרטיביים כדי להבטיח את מהימנות התוצאות שהם מספקים. פיתוח המחקר בתחומים אלה יכול לעזור להפחית את הסיכון של תובנות לא אמינות או לא מדויקות, ולהגדיל את הערך של במ"י לביטחון הגרעיני.

יישומי במ"י משגשים בתחומים רבים ושונים אבל על קהילת הביטחון לאמץ ביקורתיות יתר בנוגע ליישומיה בתחום הגרעיני. גישה לנתוני ענק וקיומם של צמדי קלט-פלט ברורים הם תנאים חיוניים והכרחיים לאימון מערכות במ"י. בתחום ביטחון גרעיני, החיסרון המבני הכפול - מיעוט הנתונים וחוסר היכולת ליצור צמדי קלט-פלט ברורים - מונע את האפשרות לפתח יישומים מוצלחים. בעוד במ"י יכולה להועיל בתחום הביטחון, היא לא מתאימה למשחקי מלחמה גרעיניים, והתובנות שהיא מספקת עלולות להטעות ולהוביל להסלמה מיותרת. למרות ההבטחה של הבינה המלאכותית, במ"י לא תעזור למנוע מלחמה גרעינית. במקום ללכת שבי אחר הטכנולוגיה האופנתית ביותר, העוסקים בביטחון לאומי ואסטרטגיה ייאצו להמשיך להתמודד עם סיכונים משמעותיים באמצעות היכולות האנושיות.

האם המודל יכול להבין ולהסביר את ההיגיון מאחורי מושגים כמו "הטאבו הגרעיני" או "נורמת אי-ההפצה"? האם הוא יכול ליישם אינטואיציה אנושית, תחושת בטן ותחושת אחריות מוסרית בניתוח שלו? מודלים מופשטים שמנסים להסביר תופעות מסובכות, כמו שיתוף פעולה בין-לאומי או דפוסי הסלמה גרעיניים, עלולים לא להביא בחשבון את הגורמים האנושיים המניעים את תהליך קבלת ההחלטות בסיטואציות מורכבות

סיכום

המחסור הכפול בכמות ובאיכות הנתונים מציב מכשול מהותי להטמעה מוצלחת של בינה מלאכותית בתחום הביטחון. זהו חיסרון ארוך טווח, שגורמי הביטחון צריכים להיות מודעים אליו. יש צורך במחקר נוסף, שיאפשר הערכה ומיפוי מדויק יותר של מגבלות השימוש בטכנולוגיה. בשלב זה, השימוש בבינה מלאכותית צריך להיעשות לצד מנגנוני בקרה ופיקוח אנושי ומתוך הימנעות מהסתמכות יתרה על הטכנולוגיה. לצד היתרונות הרבים של הבינה המלאכותית, היא עדיין לא בשלה להחליף את שיקול הדעת האנושי בתחומים מורכבים ובעלי השלכות מהותיות לביטחון ולאסטרטגיה מדינית וצבאית. האדם היה ונשאר השחקן המרכזי בתהליך קבלת ההחלטות.

ההערות למאמר זה מתפרסמות בסוף הגיליון.



מפנקסו של מפקד

פיקוד זוטור במלחמת "חרבות ברזל" (עמ' 46)

- 1 ספר בשירות החי"ר (2014). זרוע היבשה, עמ' 62
- 2 זו קביעה פנים חטיבתית שניסח מפקד עבר בביסלמ"ח, אל"ם אלון מוראש

קישוריות בהגנ"א: מרעיון מופשט למציאות

מורכבת (עמ' 52)

- 1 NATO DEFINES "INTEROPERABILITY" AS THE ABILITY FOR ALLIES TO ACT TOGETHER COHERENTLY, EFFECTIVELY AND EFFICIENTLY TO ACHIEVE TACTICAL, OPERATIONAL AND STRATEGIC OBJECTIVES. SPECIFICALLY, INTEROPERABILITY ENABLES FORCES, UNITS AND/OR SYSTEMS TO OPERATE TOGETHER, ALLOWING THEM TO COMMUNICATE AND TO SHARE COMMON DOCTRINE AND PROCEDURES, ALONG WITH EACH OTHER'S INFRASTRUCTURE AND BASES. INTEROPERABILITY REDUCES DUPLICATION, ENABLES POOLING OF RESOURCES AND PRODUCES SYNERGIES AMONG ALL ALLIES, AND WHENEVER POSSIBLE WITH PARTNER COUNTRIES. NATO (2023, APRIL 11). https://www.nato.int/cps/fr/natohq/topics_84112.htm?selectedLocale=en INTEROPERABILITY: CONNECTING FORCES
- 2 SIAP - SINGLE INTEGRATED AIR PICTURE
- 3 PANDEY, D.K. (2025, JANUARY 9). MANNED-UNMANNED TEAMING: ENHANCING LETHALITY. CENTRE FOR JOINT WARFARE STUDIES; FUNK, B. K., BAMBERGER, R. J., BARTON, J. D., CARR, A. K., CASTELLI, J. C., COX, A. B., DREWRY, D. G., JR., POPKIN, S. H., & WATKINS, A. S. (2012). ENABLING TECHNOLOGIES FOR SMALL UNMANNED AERIAL SYSTEM ENGAGEMENT OF MOVING URBAN TARGETS. JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, 31(2), 150-166; SPERLING, B., & KEWLEY, R. H., JR. (2008, SEPTEMBER 1). COOPERATIVE ENGAGEMENTS AND LEVELS OF INTEROPERABILITY (CELI) BETWEEN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND THE AH-64D LONGBOW (ADA489364). MILITARY ACADEMY WEST POINT NY OPERATIONS RESEARCH CENTER
- 4 NATO INTEGRATED AIR AND MISSILE DEFENCE (2025, FEBRUARY 13). NATO; DEPARTMENT OF DEFENCE. (N.D.). JOINT DATA NETWORKS (PROJECT NO. JP9347PH1). AUSTRALIAN GOVERNMENT. <https://www.defence.gov.au/activities/projects/joint-data-networks/army-recognition>. (2017, FEBRUARY 7). SYSTEMATIC WILL PROVIDE U.S. ARMY WITH ITS SITAWARE C4I COMMAND & CONTROL BATTLE MANAGEMENT. WORLD DEFENCE NEWS
- 5 GAMBRELL, J. (2024, DECEMBER 23). 2 US NAVY PILOTS SHOT DOWN OVER RED SEA IN APPARENT 'FRIENDLY FIRE' INCIDENT, US MILITARY SAYS. AP
- 6 IDF EDITORIAL TEAM. (2023, JANUARY 26). CONCLUSION OF JUNIPER OAK 23.2 JOINT EXERCISE OF THE IDF AND U.S. CENTRAL COMMAND. IDF

אדם מול מכונה: בינה מלאכותית יוצרת

ומלחמה גרעינית (עמ' 56)

- 1 להבדיל ממלחמה גרעינית כוללת, שבה נעשה שימוש בנשק גרעיני אסטרטגי נגד יעדים אזרחיים (COUNTER VALUE), במתקפה גרעינית מוגבלת נעשה שימוש בנשק גרעיני טקטי נגד יעדים אסטרטגיים צבאיים (COUNTER FORCE) במטרה לייצר פגיעה מדויקת תוך צמצום הנזק שנגרם
- 2 MAURONI, AL, ZACHARY, KALLENBORN, SETH, CARUS, AND RON, FIZER. (2021, SEPTEMBER 8). A WEAPONS OF

- MASS DESTRUCTION STRATEGY FOR THE 21ST CENTURY. WAR ON THE ROCKS
- 3 KARAGANOV, SERGEI A. (2023, JUNE 13). A DIFFICULT BUT NECESSARY DECISION. RUSSIA IN GLOBAL AFFAIRS
- 4 DALTON TOBY AND ARIEL LEVITE. (2024, MAY 23). IRAN'S NUCLEAR THRESHOLD CHALLENGE. WAR ON THE ROCKS
- 5 IKEDA, TOKUHIRO. (2023, AUGUST 21). JAPAN'S STRATEGY TO CONFRONT NORTH KOREA'S NUCLEAR AND BALLISTIC MISSILES. WAR ON THE ROCKS
- 6 TOON, OWEN B., CHARLES G., BARDEEN, ALAN, ROBOCK, LILI, XIA, HANS, KRISTENSEN, MATTHEW MCKINZIE, R. J., PETERSON, CHERYL S., HARRISON, NICOLE S., LOVENDUSKI, AND RICHARD P., TURCO. (2019, OCTOBER 2). RAPIDLY EXPANDING NUCLEAR ARSENALS IN PAKISTAN AND INDIA PORTEND REGIONAL AND GLOBAL CATASTROPHE. SCIENCE ADVANCES
- 7 WARGAMING, RAND, <https://www.rand.org/topics/wargaming.html>
- 8 PROJECT ON NUCLEAR GAMING, <https://pong.berkeley.edu>
- 9 REDDIE, ANDREW W., BETHANY L., GOLDBLUM, KIRAN, LAKKARAJU, JASON, REINHARDT, MICHAEL, NACHT AND LAURA, EPIFANOVSKAYA. (2018, DECEMBER 21). NEXT- (GENERATION WARGAMES. SCIENCE, 362(6421
- 10 BLACK, SCOTTY AND CHRISTIAN, DARKEN. (2024). SCALING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DIGITAL WARGAMING IN SUPPORT OF DECISION-MAKING. NATO
- 11 MARR, BERNARD. (2023, AUGUST 23). THE DIFFERENCE BETWEEN GENERATIVE AI AND TRADITIONAL AI: AN EASY EXPLANATION FOR ANYONE. FORBS, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/07/24/the-difference-between-generative-ai-and-traditional-ai-an-easy-explanation-for-anyone>
- 12 DEPEAU-WILLSON, MICHAEL. (2023, MARCH 14). GOOGLE AI PERFORMS AT 'EXPERT' LEVEL ON U.S. MEDICAL LICENSING EXAM. MEDPAGETODAY
- 13 RADEMACHER, TIMO. (2019, NOVEMBER 30). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LAW ENFORCEMENT. REGULATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE, SPRINGER
- 14 VEGA CAMERON AND ELIANA JOHNS. (2024, JULY 22). HUMANS SHOULD TEACH AI HOW TO AVOID NUCLEAR WAR—WHILE THEY STILL CAN. BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS
- 15 BRYNJOLFSSON, ERIK AND TOM, MITCHELL. (2017, DECEMBER 22). WHAT CAN MACHINE LEARNING DO? (WORKFORCE IMPLICATIONS. SCIENCE, 358 (6370
- 16 GELLER, DANIEL S. (2017, JULY 27). NUCLEAR WEAPONS AND INTERNATIONAL CONFLICT: THEORIES AND EMPIRICAL EVIDENCE. POLITICS
- 17 TANNENWALD, NINA. (1999, SUMMER). THE NUCLEAR TABOO: THE UNITED STATES AND THE NORMATIVE BASIS OF NUCLEAR NON-USE. INTERNATIONAL (ORGANIZATION, 53(3
- 18 REDDIE, ANDREW W., BETHANY L., GOLDBLUM, KIRAN, LAKKARAJU, JASON, REINHARDT, MICHAEL, NACHT AND LAURA, EPIFANOVSKAYA. (2018, DECEMBER 21). NEXT- (GENERATION WARGAMES. SCIENCE, 362(6421
- 19 BRYNJOLFSSON, ERIK AND TOM, MITCHELL. (2017, DECEMBER 22). WHAT CAN MACHINE LEARNING DO? (WORKFORCE IMPLICATIONS. SCIENCE, 358 (6370
- 20 MECHANIC, MICHAEL. (2024, APRIL 1). AN INTERVIEW WITH ANNIE JACOBSEN, AUTHOR OF 'NUCLEAR WAR: A SCENARIO'. BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS
- 21 PAULY, REID B.C. (2018, NOVEMBER 1). WOULD U.S.