

'לראות את הנולד'

שילוב יכולות בינה מלאכותית לשיפור העוצמה האווירית של צה"ל

נורית כהן-אינגר וליאור זכרון¹

2	מבוא
3	מהן טכנולוגיות הבינה המלאכותית?
5	למידת מכונה
6	ראייה ממוחשבת
7	הגברת היעילות באמצעות שילוב יכולות בינה מלאכותית
7	זיהוי מטרות ואיומים
8	תכנון ושליטה
9	ביצוע התקיפה
10	הערכת תוצאות תקיפה
10	מגבלות בשימוש בטכנולוגיה
11	סיכום
13	רשימת מקורות

¹ סא"ל נורית כהן אינגר היא ראש ענף באגף התקשוב; סרן ליאור זכרון הוא החוקר הראשי של יחידת אופק (Chief Research Officer).

אין הבדל גדול בין מה שיכול להיות מושג על ידי מוח האנושי ומה יכול להיות מושג על ידי מחשב. איננו יכולים לחזות את מה שניתן להשיג כאשר מוחנו יגיע לשלב שבינה מלאכותית תשווה לו²

פרופסור סטיבן הוקינג, אוקטובר 2016

מבוא

במהלכה של מלחמת ששת הימים שותקו הכוחות האוויריים של צבאות ערב במסגרת מבצע מוקד. מבצע זה השפיע באופן דרמטי על המשך המלחמה והוא אף סייע במידה רבה להשגת ההכרעה. התקפה מקדימה כזו רלוונטית גם לימינו, אך היא אינה מספקת אל מול משרעת האיומים שעמם אנו נדרשים להתמודד.³ חמישים שנים עברו מאותו המבצע, ואנו מזהים כי תהליכי תכנון וביצוע ממושכים של מתקפה אווירית, כפי שהתאפשרו במאה ה-20, הם לרועץ בהווה. כיום זמן החשיפה של אויב (בשטח בנוי ובסביבה אזרחית) קצר יחסית והחתימה שלו נמוכה (אדם לעומת מטוס או טנק). אלו מחייבים תקיפה ב"מעגלים קצרים".

יחד עם זאת, האויב לומד את שיטות הלחימה של צה"ל ומתאים את עצמו בזריזות – אל מול החימושים המתקדמים של צה"ל הוא מציג אמצעים זולים המקדמים את מטרותיו. התאמה זאת תורמת למצב שבו הלחימה אינה מוכרעת והיא מתארכת לחודשים ארוכים ומתישים. למול הנשק המתפתח מבחינה טכנולוגית, אנו עדים לשימוש באמצעים פשוטים זולים כתגובה.⁴

שוב ושוב, אנו עומדים נבוכים למול ההשקעה הכלכלית הגבוהה במתקפה אווירית למול חימושי האויב הזולים בסדרי גודל. רק לאחרונה דווח על יירוט של רחפן שעלותו 200 דולרים באמצעות טיל פטריוט שעלותו 3.4 מיליון דולר.⁵ ביקורת דומה נשמעת גם על מערכת "כיפת ברזל". על כן אנו נדרשים לשינוי תפיסה מהיסוד – "לא עוד מאותו הדבר".⁶ הדבר מחייב דיוק הפגיעה במטרות, מתן הדגש על עיתוי נכון (הפיכה מהירה של המודיעין למטרה), יעול החימושים לצד שיפור ההספקים וקיצור מעגלי התקיפה.

במאמר זה נסקור מספר טכנולוגיות מתחום הבינה המלאכותית שהתפתחו משמעותית בתעשייה ובאקדמיה בשנים האחרונות לכדי יכולת מוכחת – מכונות היודעות לבצע החלטות מושכלות כבני

² Stephen Hawking, "Speaking at the unveiling of the Leverhulme Centre for the Future of Intelligence", October 19, 2016, <http://rotter.net/forum/scoops1/355262.shtml>

³ מאיר פינקל, "יעילות ונקודת השיא של ההצלחה - האם דפוס הפעולה של מערכה אווירית בפתיחת מערכה עבר את הנקודת השיא?", בין הקטבים, גיליון 11-12, (צה"ל: מרכז דדו, מאי 2017).

⁴ לאחרונה אף דווח על ציפורים טורפות העוברות אימון מיוחד להפלת רחפנים:

"אמצעי לחימה מקורי כנגד איום הטרור של הרחפנים", iHLC, במרץ, 2017, [Goo.gl/EOODCL](http://goo.gl/EOODCL)

⁵ Andrew Liptak, "A US ally shot down a \$200 drone with a \$3 million Patriot missile", The Verge, March 16, 2017, <http://www.theverge.com/2017/3/16/14944256/patriot-missile-shot-down-consumer-drone-us-military>

⁶ אהרון חליוה, "עוד מאותו הדבר – על הצורך בדילוג תפיסתי בבניין הכוח", בין הקטבים, גיליון 9, (צה"ל: מרכז דדו, דצמבר 2016), 22.

האדם. נראה כיצד שילוב הדרגתי של מערכות קוגניטיביות המאפשרות למידה יכול ליעל ולהועיל. משימות המבוצעות על ידי אנשים יכולות להתבצע על ידי מכונות המביאות לשיפור הספקים, לקיצור מעגלי התקיפה ולהימנעות מטעויות אנוש בהחלטות המתבצעות תחת תנאי לחץ הלחימה והיעדר שינה. היישום של הטכנולוגיות הללו אינו מתאים לכל תחום והוא אינו מתאים לכל החלטה – אך בוודאי קיים בו פוטנציאל רב לשיפור עליונות עוצמתו האווירית של צה"ל.

מהן טכנולוגיות הבינה המלאכותית?

בינה מלאכותית הינו ענף במדעי המחשב העוסק ביכולתו של המחשב לחקות חשיבה אנושית. המושג עצמו נטבע על ידי ג'ון מקארתי בשנת 1956, ולאורך השנים התפתחו יכולות רבות המציגות חשיבה אנושית במערכות מחשב.

מה השתנה בשנים האחרונות המייצר פריצה כה משמעותית בתחום הבינה מלאכותית? הרחבה משמעותית של יכולות חישוב ואחסון נתונים אפשרו מימוש אלגוריתמים מתקדמים העושים שימוש ביכולות אלו. פריצת הדרך המשמעותית ביותר הביאה לכך שמערכות מצליחות לסווג תמונות ברמה זהה לאלו של בני אדם. השינוי מבוסס על מימוש אלגוריתמים 'ללמידה עמוקה' (Deep Learning) המחקים את אופן פעולתו של המוח האנושי, שהתאפשרו רק בחמש השנים האחרונות.⁷ בנוסף, אלגוריתמים אלה מציגים פוטנציאל מוכח ליכולות זיהוי אובייקטים בתמונות לראשונה בדיוק גבוה יותר מהיכולת האנושית. משמע, בהינתן יכולות חישוב והשקעה חד פעמית בייצור מאגר מידע ניתן להחליף את האדם.

מערכות מבוססות טכנולוגיות הבינה המלאכותית לוקחות חלק משמעותי בעולם העסקי ובחיי היום יום שלנו. נציג את הטכנולוגיות הללו דרך דוגמאות מוכרות:

- העוזרות האישיות (personal assistant) כגון סירי, קורטונה ואלקסה מאפשרות את היכולת לזהות את הנאמר ולתמלל אותו (speech to text), לנתח משפטים בשפה טבעית ולבצע פעולה קוגניטיבית בהתאם (natural language processing). יישום נוסף ונפוץ לטכנולוגיות אלו הינו הבוטים (chat bots) המשולבים בשיחות בין בני אנוש (למשל בווטסאפ) והיודעים לשלב מידע רלוונטי בזמן ובמקום הנכון בשיחה. דוגמאות לבוטים המחליפים משימות של עורכי דין, רופאים ופסיכולוגים גם הן בנמצא, המפורסם שביניהם הוא הצ'טבוט DoNotPay, אשר ערער וביטל כ-160,000 דוחות חנייה ב-21 חודשים שבהם הוא פעל.⁸ תחום זה מתפתח עד כדי עובדים

⁷ Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks Advances in neural information processing systems", 2012. APA
<https://www.nvidia.cn/content/tesla/pdf/machine-learning/imagenet-classification-with-deep-convolutional-nn.pdf>

⁸ Samuel Gibb, "Chatbot lawyer overturns 160,000 parking tickets in London and New York", *The Guardian*, 28 June, 2016, <http://www.google.co.il/amp/s/amp.theguardian.com/technology/2016/jun/28/chatbot-ai-lawyer-donotpay-parking-tickets-london-new-york>

רשמיים של חברה (Co-Worker), כך לדוגמא, עורך-דין "בינה מלאכותית" בשם Ross הועסק לאחרונה על ידי חברת עורכי דין מפורסמת וצפוי, לטענתם, להחליף כ-50 מתמחים בתחום ידע ספציפי.⁹

- יכולת הנמצאת בשימוש זמן רב הינה יצירת אופטימיזציה ותכנון בהינתן מידע רב שאותו יש לעבד. בין הדוגמאות הבולטות לכך ניתן למנות את האופן שבו תוכנת Waze שינתה מקצה לקצה את אופן ההתמצאות שלנו. תוכנה זו מחשבת וממליצה לנו מסלול ניווט אופטימלי. אנשים רבים מסתמכים אך ורק על המלצות "המכונה" וחדלו לנווט בעצמם (ספק אם בכלל הם יכולים לעשות כן).

- תורת המשחקים שנולדה באסכולת הכלכלה, גם היא עברה שעתוק לעולם הבינה המלאכותי, כאשר החלו לייצר אלגוריתמים המבוססים על תורה זו המחקים חשיבה מבוססת מהלכים. דוגמא מפורסמת לכך שגרמה לתדהמה גדולה בעולם כמו גם לתהודה חיובית ליכולות טכנולוגיית הבינה המלאכותית, הינה משחק השחמט המפורסם של אלוף העולם גארי קספרוב, אשר נוצח בידי המכונה deep blue מתוצרת IBM ב-1997.¹⁰ בשנים האחרונות זכתה מכונת ה-IBM Watson למול אלופי העולם בטרייוויה (2011), ולאחרונה ניצחה מכונת AlphaGO של גוגל את אלוף העולם במשחק האסטרטגיה היפני GO, משחק המורכב מכמות מהלכים גדולה בסדרי גודל ממשחק השחמט.¹¹



גארי קספרוב מרכין את ראשו במבוכה, בהפסדו למחשב "Deep Blue", 1996

⁹ Cecille De Jesus, "AI Lawyer "Ross" Has Been Hired By Its First Official Law Firm", *Futurism*, March 11, 2016, <https://futurism.com/artificially-intelligent-lawyer-ross-hired-first-official-law-firm/>

¹⁰ Campbell, Murray, A. Joseph Hoane, and Feng-hsiung Hsu, "Deep blue," *Artificial intelligence* 134, 1-2 (2002): 57-83.

¹¹ David, Silver et al, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," *Nature* 529.7587 (2016): 484-489.

שני תתי תחומים בולטים ומבטיחים של הבינה המלאכותית הם למידת מכונה וראייה ממוחשבת.

למידת מכונה

תחום למידת המכונה (machine learning) עושה שימוש באלגוריתמים ומודלים (רובם מעולם הסטטיסטיקה) המנתחים כמויות עצומות של נתוני עבר ובמידע זמן אמת לצורך חיזוי תוצאות עתידיות. ניתן לחלק, באופן גס, מערכות הממשות אלגוריתמי למידת מכונה לשלוש רמות שונות¹²:

1. מערכות המתארות מה קרה? (Descriptive) – מערכות העושות עיבוד לנתונים קיימים בכדי להציגם באופן המאפשר למשתמש במערכת לקבל החלטה טובה יותר או מהירה יותר.

2. מערכות חיזוי מה יקרה? (Predictive) – מערכות המשתמשות בנתונים כדי לחזות סלמשתמש את הצפוי בהמשך.

3. מערכות ממליצות מה צריך לקרות? (Prescriptive) – מערכות המעבדות את הנתונים הרבים, חוזות מה צפוי לקרות וממליצות מדהי דרך הפעולה הנדרשת בהתאם. בשלב הבא המערכות יודעות אף לפעול באופן אוטונומי ולמעשה מחליפות את האדם בחלקים מהתהליך או בכולו.

היכן ניתן לזהות למידת מכונה בחיי היום-יום? התחום נפוץ מאוד בעולם הרפואה שבו נאסף מידע רב במחקרים רבים לאורך השנים על סימפטומים ועל מידת הצלחת טיפול מסוים במחלה לצד התפתחות חקר הגנום האנושי. קל להבין איך ניתן לחשב דפוסים ותבניות, לחזות מידת הצלחתו של טיפול בחולה, להמליץ על טיפול מדויק ועוד.

תחומים נוספים שבהם אנו חווים "על בשרנו" את התועלת העסקית העצומה שמביאות יכולות אלה, הם בדמות פרסומים ממוקדים המבוססים על דפוסי גלישה באינטרנט. קרי מידע רב הנאסף על כל פעולה שאנו מבצעים ברשת למידה שהפכה את החברות המובילות בתחומים אלו לענקיות טכנולוגיה מצליחות במיוחד.

פרופסור קירה רדינסקי התפרסמה בזכות מחקריה שהצליחו לחזות התפרצות מהומות ומגיפות קשות בעולם עוד לפני שהתרחשו. חברה שהקימה ושנרכשה לאחרונה על ידי eBay, עשתה שימוש באלגוריתמים דומים לחיזוי העדפות צרכנים והתאמת חווית הקנייה בהתאם¹³.

¹² Jeff Bertolucci, "Big data analytics: Descriptive vs. predictive vs. prescriptive", Information Week (2013).

¹³ אליחי וידל, "ד"ר קירה רדינסקי יודעת מה יקרה בעתיד - וכבר הרוויחה מזה מיליונים", The Marker, , 22 ביולי 2016, <http://www.themarker.com/markerweek/1.3014535>

ראייה ממוחשבת

תת תחום של הבינה המלאכותית שיש לו פוטנציאל עצום לתרומה ליכולות האוויריות של צה"ל, הינו הראיה הממוחשבת (Computer Vision)¹⁴ – ענף מחקר העוסק בעיבוד אוטומטי של תמונות ווידאו במטרה לחלץ מידע חזותי הטמון בהם ולפרשו. כדיסציפלינה מדעית, ראייה ממוחשבת עוסקת בתיאוריה הניצבת מאחורי חילוץ מידע מתמונות באמצעי ממוכן. בתחום הטכנולוגי, ראייה ממוחשבת בדרך כלל מתייחסת לתהליך של שילוב ניתוח אוטומטי של תמונה עם שיטות ועם טכנולוגיות אחרות כדי לספק בדיקות אוטומטיות והדרכת תהליך או רובוט ביישומים תעשייתיים.

תחום זה מתפתח בקצב גבוה במיוחד בעולם האזרחי והעסקי, ואנו נהנים מפרותיו באופן יומיומי. לדוגמא, חברת google משקיעה בטכנולוגיה משאבים רבים. כבר לפני כחמש שנים חשפה בפנינו אלגוריתמים משוכללים המסוגלים לזהות פנים בקלות וביעילות. ל-google photos מספיקות תמונות ספורות של אדם בכדי לזהותו בדיוק גבוה במיוחד בתמונות אחרות במאגר, בכל שנות חייו, אף אם הוא חלק מקהל גדול, עוטה תחפושת ואף אם הוא מופיע בצדודית. באופן דומה אלגוריתמים מתקדמים, אשר הוצגו בשנים האחרונות, מאפשרים גם תמלול של הנעשה בווידיאו, זיהוי הנושאים בתמונות, זיהוי השינוי במצב בתמונות לפני זיהוי חשודים בקהל ואחריו.

תחום הראייה הממוחשבת הנו גורם מאפשר מרכזי ליכולות אוטומציה רבות – כמעט כל פריצות הדרך בתחום הכלים האוטונומיים (self-driving vehicles) הושגו הודות להתקדמות בתחום הראייה הממוחשבת והיא מהווה נדבך מרכזי בכדי לקיימם¹⁵.

הגברת היעילות באמצעות שילוב יכולות בינה מלאכותית

ננסה כעת להסביר את טענתנו שלפיה לאימוץ יכולות הבינה המלאכותית בתהליכים שמבצע צה"ל ישנו פוטנציאל עצום לשיפור יעילות התהליכים בצבא.

ראשית בבניין הכוח, נשים לב כי לכלי טיס מאוישים מרחוק יש השפעה ברורה על היקף הטייסים האנושיים הנדרשים בשדה הקרב. מדובר בחיסכון ממשי ומוכח בחיי אדם לצד חיסכון פוטנציאלי שאין זה המקום לנתחו, בהכשרות ובתקנים.

כמו כן שילוב יכולות אלו בתהליכי התכנון בבניין הכוח, בכלל זה סימולציה לגבי תרחישים שונים, יכול להיעזר רבות בטכנולוגיה ולייצר מוכנות וכשירות טובים יותר לשעת הלחימה¹⁶.

¹⁴ Computer Vision, Wikipedia, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Computer_vision

¹⁵ Tom Simonite, "Self-Driving Cars' Spinning-Laser Problem", MIT Technology Review, March 20, 2017, <https://www.technologyreview.com/s/603885/autonomous-cars-lidar-sensors/?set=603886>

¹⁶ M.B. Reilly, "Beyond video games: New artificial intelligence beats tactical experts in combat simulation", UC magazine, June 27, 2016,

http://magazine.uc.edu/editors_picks/recent_features/alpha.html

בתחום הסיוע האווירי, לאחרונה דווח על פיתוח חדשני ישראלי למסוק מאויש מרחוק לפינוי פצועים משדה הקרב.¹⁷ במסוק זה יהיו אמצעים לטיפול אוטונומי ואוטומטי בפצוע (כגון עירוי) והוא ישמש בעיקר לפינוי מאזורי לחימה צפופים שמסוק רגיל אינו יכול לנחות בהם. אין ספק שלמימוש כזה יש פוטנציאל אדיר בחיסכון בחיי אדם הן של הצוות המסייע והן עבור הפצועים שיזכו לסיוע מהיר ומדויק יותר.

בתחום ההגנה האווירית, כבר היום נעשה שימוש נרחב ביכולות אלו. מערכת "כיפת ברזל", למשל, הנה מערכת מתוחכמת המחליטה על סמך מידע רב המתקבל בזמן אמת כיצד לפעול. זיהוי האיום וניתוחו, מענה מדויק להסרתו של האיום ולעיתים, תוך סיכון מחושב, להימנע מטיפול באיום – חוסכים חיי אדם בעורף.

שיפור דרמטי עשוי להיות מושג באמצעות רתימת הטכנולוגיה לתהליכי התקיפה האווירית. ננתח את תהליך ונראה כיצד טכנולוגיות לראייה מממוחשבת משתלבות בכל אחד משלבי התהליך: זיהוי האויב, תכנון התקיפה, ביצוע התקיפה והערכת תוצאות התקיפה.

זיהוי מטרות ואיומים

אנחנו מזהים שתי סכמות עיקריות לזיהוי מטרות ואיומים:

1. סיווג תמונות – שימוש בתוכנת מחשב לסיווג תמונות לצורך סריקת תאי שטח גדולים. כאשר התוכנה תזהה את האובייקט מהסוג שהוגדר לה, היא תייצר על כך התראה.
 2. זיהוי שינויים – סכמה רלוונטית נוספת היא זו שבה תוכנת מחשב משתמשת בתמונות קודמות מאותו תא שטח כדי לזהות שינויים האופייניים לפעילות אויב בו.
- שתי הסכמות יכולות להיות משולבות זו בזו ולפעול בשיתוף אדם או לבדן. חשוב להבהיר כי די בשתי הסכמות הנ"ל לבדן כדי לייעל בצורה משמעותית ('מכפיל כוח') את אופן פעולתם של מערכי התצפית והפענוח.

המושג הבסיסי בתחום זה הוא ATR – Automatic Target Recognition והוא נחקר מזה שנים רבות. עם זאת פריצות הדרך בתחום 'למידה עמוקה' מאפשרות זיהוי מטרות ברמה שאינה נופלת מיכולת הזיהוי האנושיות. מעבר לכך, טכנולוגיות זמינות בתחום זה מאפשרות אחיזת שטח בזמן אמת על ידי התראה למשתמש על שינויים רלוונטיים בתא שטח מוגדר. כך לדוגמא, שימוש ברחפנים הפועלים למטרות מעקב מחדד את תכנון המשימה ומעשיר את המידע המודיעיני לקראתה. יכולת זו שימשה

¹⁷ גילי בקר, "מטוס ללא טייס יפנה פצועים מהשטח", במחנה, אפריל 2017,

למשל טרום התקיפה על אוסמה בן לאדן.¹⁸ בנוסף, אלגוריתמים מתקדמים לאחזת שטח מאפשרים לבצע השוואה בין תמונות שצולמו מסנסורים שונים (השוואה 'חוצת ספקטרום') ובכך לחסל, מעשית, את יכולת האויב להתחמק מגילוי. ל-DARPA יש תכנית ייעודית לטיפול באלגוריתמיקה הייחודית לזיהוי המטרות בשם - Target Recognition and Adaption in Contested Environments (TRACE)¹⁹, אשר רובה ככולה מתבססת על יכולות הבינה המלאכותית המתוארות במאמר זה.

תכנון ושליטה

ההתמודדות בקצבי לחימה גבוהים עם אויב מבוזר מחייבת תהליכי תכנון ושליטה יעילים מדויקים וזריזים. פרויקט משותף של חיל האוויר ואמ"ן, אשר זכה בפרס "Israel's 2015 IT Award" מהווה דוגמא מצוינת לאופן שבו ניתן לעשות זאת. הפרויקט פועל למיכון של חלקים מתהליך תכנון וניהול המטרות ובכך הוא מאפשר קיצורם מעשרות דקות לשניות בודדות.²⁰

יכולות בינה מלאכותית יאפשרו גם לגבש תמונת מצב בהתבסס על מידע מגוון שלא היו זמין למקבל ההחלטות עד כה. כך לדוגמא, תצלומי לוויין ונתוני רשתות חברתיות עשויים לשמש להערכת פינוי אוכלוסייה לשם צמצום נזק אגבי ומניעת סיטואציות הומניטריות או להערכת מצב האויב באופן אוטומטי ומידי. מידע מסוג זה נמצאים בשימוש כלכלנים ומשקיעים לצורך הערכת תל"ג ופעילות כלכלית של מדינות.²¹

יכולת משמעותית נוספת הקיימת במערכות קוגניטיביות היא להפעיל אלגוריתמים כדי לברור מטרות ולתעדפן. יכולת זו חשובה במיוחד בשעת לחימה לאור היקפי המטרות והתעדכנותם לצד הרצון להתמקד ולפעול במועילות בזמן אמת.

¹⁸ Robert Weiner, "Drones Reduce Number Of American Troops, Former Clinton White House Spokesman Robert Weiner & Defense Analyst Tom Sherman Say Liberals And Conservatives Should Both Advocate Them", PRNewswire, 10 Oct, 2014,

<http://www.prnewswire.com/news-releases/drones-reduce-number-of-american-troops-former-clinton-white-house-spokesman-robert-weiner--defense-analyst-tom-sherman-say-liberals-and-conservatives-should-both-advocate-them-278770111.html>

¹⁹ John Gorman, "Target Recognition and Adaption in Contested Environments (TRACE)", A DARPA Program, <http://www.darpa.mil/program/trace>

²⁰ יוסי הטוני, "מיהם מצטייני המחשוב של 2015?", *אנשים ומחשבים*, 16 בדצמבר 2016,

<http://www.pc.co.il/it-news/202029/>

²¹ Jeff kearns, "Satellite Images Show Economic Growing and Shrinking in Real Time", Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/news/features/2015-07-08/satellite-images-show-economies-growing-and-shrinking-in-real-time>
http://www.econ.brown.edu/Faculty/David_Weil/Henderson%20Storeygard%20Weil%20AER%20April%202012.pdf

ביצוע התקיפה

ראשית, אמצעי הלחימה החדשים כוללים כבר יכולות בינה מלאכותית מובנות. כך למשל, מטוס "אדיר" (F-35),²² יכלול יותר ויותר יכולות אוטונומיות של זיהוי מטרות והחלטה על לחימה אווירית, עד כדי פלטפורמה מאוישת מרחוק שתפעל לצד מטוסי קרב מאוישים ותחסוך אבדות בנפש. בשלב הראשון כנושאי נשק וחימושים.²³ קיצור המעגלים יתאפשר בזכות יכולות ניתוח וידאו גבוהות, המצויות בפלטפורמה, ללא צורך בשליחת האינפורמציה לתא הלחימה. מטוס "אדיר" המוגדר כדור "חמישי" צפוי להיות האחרון המאויש בטייסים. הדור ה"שישי" של כלי הטיס מוגדר אוטונומי במלואו.

כמובן, שיכולות תנועה של קבוצת כלים בלתי מאוישים, בתיאום מושלם ביניהם, על סמך מידע חזותי הזורם בקבוצה והמנותח בזמן ביצוע המשימה וללא יד אדם המכוונת אותם, הינה יכולת שכבר קיימת.²⁴

בהקשר התקיפה נציין גם את יכולות טכנולוגיית הראייה הממוחשבת לאפשר לפצצות לנווט ליעדן ללא שימוש ב-GPS, כפתרון לאחד מהאיומים המרכזיים בלחימה שישראל חלוצה בפיתוח.

ניווט באמצעות ראייה ממוחשבת מתאפשר אף לכדורי רובים סטנדרטיים, כפי שפורסם לאחרונה על ידי DARPA.²⁵

הערכת תוצאות תקיפה

לטכנולוגיית הבינה המלאכותית יש פוטנציאל עצום לשיפור תהליכי הערכת תוצאות תקיפה. תחילה נציין כי טכנולוגיה לגילוי שינויים, אשר תוארה בפרק זיהוי איומים ומטרות, עשויה לשמש לזיהוי מבנים ורכיבים שהושמדו. בנוסף, היכולת להשוות תמונות שצולמו במגוון סנסורים תייצר רובוסטיות רבה לפעולה בזמנים ובתנאי מזג אוויר מגוונים, כגון סופות חול, עננות, ערפל וסערה. לדוגמא

²² Kris Osborn, "Air force chief scientists confirms F35 will include artificial intelligence", Defense Systems, Jan, 20, 2017,

<https://defensesystems.com/articles/2017/01/20/f35.aspx>

²³ דן ארקין, "מטוסי F35 ו-F22 נגד F16", IsraelDefense, 7 פברואר 2017,

www.israeldefense.co.il/he/node/28455

²⁴ Sarah Griffiths, "The drones that flock like BIRDS: Robots fly in formation and navigate without being remotely controlled", Mail Online, March, 3, 2014

<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2572067/The-drones-flock-like-BIRDS-Robots-fly-formation-navigate-without-remotely-controlled.html>

²⁵ Annabs Sanches, "Watch DARPA's new self-guided bullets turn in mod – flights, following their targets", *Futurism*, March 17, 2016. <https://futurism.com/wanted-curved-bullet-now-a-reality/>

באמצעות טכנולוגיה לזיהוי שינויים המבוססת על SAR – synthetic aperture radar²⁶ שנמצאה על ידי תחום המחקר של חיל האוויר האמריקאי כבעלת פוטנציאל לתת מענה לצורך זה. כמו כן, לטכנולוגיות בינה מלאכותית יש יכולת להעריך את השפעת התקיפה על האויב ובאמצעות ניתוח של נתוני רשתות חברתיות להבין את האפקט התודעתי של התקיפה. בעיקר יש לטכנולוגיה זאת יכולת לנתח את הצילומים האזרחיים מאזור התקיפה באמצעות טכנולוגיות לסריקת קהל ולזיהוי התרחשות בווידאו ובתמונות, המאפשרות להעריך את הנזק האגבי ולהפריך ידיעות אויב בנוגע להרג בלתי מעורבים, עד כמה שניתן.

מגבלות בשימוש בטכנולוגיה

ראשית, הסוגיה המורכבת ביותר בהטמעת מערכות קוגניטיביות היא האתיקה הנוגעת להחלטות אוטונומיות לסגירת מעגלים, כלומר עצם ההחלטה לביצוע הרג. החשש המרכזי הוא שהזיהוי יהיה מוטעה ולכן ייהרגו בלתי מעורבים. מדיניות הלחימה בטרור של ארה"ב זכתה לביקורת רבה בשל כך, כיון שנהרגו אזרחים רבים חפים מפשע.²⁷ אך גם בהינתן מצב שבו על המכונה להחליט על נזק מסוים, השאלה העולה היא: האם היא תדע לבחור באופן מוסרי? יש לכך עשרות תרחישים ודוגמאות. כגון העדפת דריסת ילד שירד לכביש על פני סיכון משפחה שלמה ברכב הנוסע, אולם הבעיה היא כמובן עם הדוגמאות שטרם זוהו ושטרם נקבע עבורן "פתרון בית ספר" נכון.²⁸ זווית שונה לנושא האתיקה אינה עוסקת בטוהר הנשק אלא בהשפעת היעדר סיכון על אופיים של הנלחמים (בשלט רחוק) ועל המוטיבציה לשירות כלוחם.²⁹

שנית, ההתמודדות עם כמות עצומה של מידע מחייבת תרבות שונה של טיפול במידע. תחילה נדרש להזינו בצורה מדויקת ואמינה. לאחר מכן המידע נדרש לעבור תהליכי תיוג דהיינו, לציין על כל מידע מהו הערך שלו, כדי לאפשר מיצוי של ידע מתוכו. לדוגמא, עבור תמונה היכן צולמה ומתי ומי מצולם

²⁶ Miriam Cha, Rhonda D. Phillips, Patrick J. Wolfe and Christ D. Richmond, "Two-Stage Change Detection for Synthetic Aperture Radar", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 53, NO. 12, December 2015

http://discovery.ucl.ac.uk/1477241/1/Wolfe_TSCD_rv_v6_forUCL.pdf

²⁷ Steven Mackmillan, "Obama Admits US Drone Strikes Kill Civilians", New Eastern Outlook, April, 13, 2016

<http://journal-neo.org/2016/04/13/obama-admits-us-drone-strikes-kill-civilians/>

²⁸ Larry Greenemeier, "Driverless Cars Will Face Moral Dilemmas", Scientific American, June 23, 2016,

<https://www.scientificamerican.com/article/driverless-cars-will-face-moral-dilemmas/>

²⁹ ניב גורדון, "מוסר של מזל"טים", העוקץ, 24, ינואר, 2014

<http://www.haokets.org/2015/01/24/%D7%9E%D7%95%D7%A1%D7%A8-%D7%A9%D7%9C-%D7%9E%D7%96%D7%9C%D7%98%D7%99%D7%9D/>

בה. תרבות זו מתאפיינת בסיזיפיות עד כדי שלרוב היא מבוצעת במיקור המונים (crowd sourcing) שספק רב ניתן לבצע עבור מידע מבצעי בשל סודיותו. לבסוף, לאור החשיבות הגבוהה שיש לכמויות המידע, אנו נדרשים לשמור את המידע המתויג במאגרים גדולים שבהם יוכלו האלגוריתמים השונים לעשות שימוש.

ואחרונה – הטמעת יכולות בינה מלאכותית מחייבת אמון משתמשים ומפקדים במכונות המבצעות החלטות ובמידה רבה ויתור על תחושות הבטן והחלטות אמוציונאליות והתבססות על מערכות שמחליטות ואף מבצעות ההחלטה באופן אוטונומי. מעבר לכך האתגר בשילוב היכולות בצבא מושפע גם מהמחיר הגבוה של הטעות. עם זאת מחיר גבוה של טעות אינו ייחודי למערכת הצבאית, ואל לו לרפות את ידינו מהחתיירה לשילוב יכולות בינה מלאכותית – הוא קיים גם בתחומים אזרחיים, כגון רפואה ותחבורה, וההצלחות בהם צריכות להוות השראה והכוונה למאמצינו.

סיכום

גם האמריקאים זיהו כבר ב-2011, שהשליטה באוויר בהפעלת הכוח אל לה להסתפק במטוסים החדשניים אלא גם בפלטפורמות אוטונומיות זולות. במיוחד נדרש לאמץ שיטות של בינה מלאכותית כדי לייעל את התהליך.³⁰ בינה מלאכותית אף הוגדרה כאחת מיכולות הנדרשות לקפיצת הזינוק (offset strategy) במשרד ההגנה האמריקאי.³¹

הדגמנו שיפור אפשרי ומצרפי במרכיבי תהליך התקיפה המייעל את השימוש בחימושים, מדייק את התקיפה וממזער נזק אגבי, וזאת באמצעות שימוש בטכנולוגיות הבינה המלאכותית התורמות לקיצור מעגלי התקיפה על ידי ניתוח מידע רב בזמן אמת ויצירת המלצות והחלטות בזמן רלוונטי.

המעורבות האנושית בתהליך היא לאו דווקא תורמת ומקדמת, ולכן היא לא תמיד הכרחית. עם זאת למעורבות האנושית יש משמעות בתהליכי בניית האמון במערכות השונות, במיוחד במקרים שבהם מחיר הטעות הוא גבוה ובאופן מסורתי שולבו בו עד כה אנשים. לשם כך ניתן לשלב את היכולות החדשות באופן הדרגתי ובהתאם למודל שהוצג בפרק הפתיחה: בשלב התיאור (Descriptive) האדם ימשיך לקחת חלק מוביל בתהליך, בעצם קביעת המודל ועיבוד הנתונים תוך שליטה מלאה על "השכל" שבתהליך. האדם יעבור לבקרה בשלב שבו המערכת תחזה את העתיד בעקבות הנתונים חדשים שיתקבלו (Perspective) ותמליץ על החלטות (Prescriptive), כאן האדם יחזור לשליטה מלאה

³⁰ Adam Lowther, "2030 vision - Air Force strategy study looks to long-term critical capabilities", Armed Forces Journal, April 1, 2011, <http://armedforcesjournal.com/2030-vision/>

³¹ Amir Husain, "AI On The Battlefield: A Framework For Ethical Autonomy", Forbes, November, 26, 2016,

<https://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2016/11/28/ai-on-the-battlefield-a-framework-for-ethical-autonomy/&refURL=&referrer=>

על אופן ביצוען ויישומן של ההחלטות. התנתקותו של האדם מהתהליך תתאפשר בהדרגה לאחר בשלות ואמון מלא בטכנולוגיות - לכדי אוטונומיות מלאה.

היכולת הטכנולוגית קיימת ומוכחת בשימוש בעולם האזרחי (הראנו דוגמאות רבות לכך), אולם נדרשת כבדת דרך בכדי לאמצה בצה"ל - החל מסוגיות של תקשורת וסב"ר ("סייבר") וכלה ביצירת אמון הדרגתי בטכנולוגיה בכדי לאפשר את ההשפעה המצרפית שהצגנו. כמו כן צעד מאפשר מרכזי בתהליך יהיה הקמת מאגרים ותרבות של איסוף ותיוג מידע.

המגבלות שהוצגו - הפיזיות והמנטליות - הן מהמורה שניתן להתגבר עליה בשנים הקרובות באמצעות תוכנית סדורה לשילוב הטכנולוגיות בצעדים קטנים, זהירים ומקביליים לתהליכים האנושיים. המרכיב המרכזי אשר מייצר את אמונם של בני האדם בטכנולוגיות חדשניות הינו שימוש וניסיון בהן. לכן, בנימה אופטימית, ניתן לומר כי ככל שנגדיל את השימוש בטכנולוגיות אלו, יגבר האמון שלנו בהן, ובהתאם, נחוש בטוחים לשלבן במרכיבים ליבתיים יותר של התהליכים המתקיימים בצה"ל [מקור].

כאמור, הפוטנציאל הוא גדול, ונפוץ בעולם האזרחי, כך שהימנעות או דחיית אימוצו יהפכו מיתרון יחסי לחיסרון ונקודת תורפה.

רשימת מקורות

- ארקין, דן. "מטוסי F35 ו-F22 נגד 7, IsraelDefense, "F16", פברואר, 2017.
www.israeldefense.co.il/he/node/28455
- "אמצעי לחימה מקורי כנגד איום הטרור של הרחפנים". 2. Ihlc. במרץ, 2017. Goo.gl/eoODCL.
- בקר, גילי. "מטוס ללא טייס יפנה פצועים מהשטח". במחנה. אפריל 2017.
[/https://www.idf.il/media](https://www.idf.il/media)
- גורדון, ניב. "מוסר של מזל"טים". העוקץ. 24, ינואר, 2014.
<http://www.haokets.org/2015/01/24/%D7%9E%D7%95%D7%A1%D7%A8-%D7%A9%D7%9C-%D7%9E%D7%96%D7%9C%D7%98%D7%99%D7%9D/>
- הטוני יוסי. "מיהם מצטייני המחשוב של 2015?". אנשים ומחשבים. 16 בדצמבר 2016.
<http://www.pc.co.il/it-news/202029/>
- וידל, אליחי. "ד"ר קירה רדינסקי יודעת מה יקרה בעתיד - וכבר הרוויחה מזה מיליונים", The Marker, 22 ביולי 2016.
<http://www.themarker.com/markerweek/1.3014535>
- חליוה, אהרון. "עוד מאותו הדבר – על הצורך בדילוג תפיסתי בבניין הכוח". בין הקטבים. גיליון 9. צה"ל: מרכז דדו. דצמבר 2016.

- פינקל, מאיר. "יעילות ונקודת השיא של ההצלחה- האם דפוס הפעולה של מערכה אווירית בפתיחת מערכה עבר את הנקודת השיא?". בין הקטבים. גיליון 11-12. צה"ל: מרכז דדו. מאי 2017.
- Bertolucci, Jeff. "Big data analytics: Descriptive vs. predictive vs. prescriptive". Information Week (2013).
- Cha, Miriam. Phillips, Rhonda. Wolfe, Patrick. Richmond, Christ. "Two-Stage Change Detection for Synthetic Aperture Radar". IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 53, NO. 12. December 2015. http://discovery.ucl.ac.uk/1477241/1/Wolfe_TSCD_rv_v6_forUCL.pdf
- "Computer Vision". Wikipedia.
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Computer_vision
- De Jesus, Cecille. "AI Lawyer "Ross" Has Been Hired By Its First Official Law Firm". Futurism. March 11. 2016. <https://futurism.com/artificially-intelligent-lawyer-ross-hired-first-official-law-firm/>
- Gibb, Samuel. "Chatbot lawyer overturns 160.000 parking tickets in London and New York". The Guardian. 28 June. 2016. <http://www.google.co.il/amp/s/amp.theguardian.com/technology/2016/jun/28/chatbot-ai-lawyer-donotpay-parking-tickets-london-new-york>
- Gorman, John. "Target Recognition and Adaption in Contested Environments (TRACE)". A DARPA Program. <http://www.darpa.mil/program/trace>
- [Greenemeier](#), Larry. "Driverless Cars Will Face Moral Dilemmas". Scientific American. June 23, 2016. <https://www.scientificamerican.com/article/driverless-cars-will-face-moral-dilemmas/>
- Griffiths, Sarah. "The drones that flock like BIRDS: Robots fly in formation and navigate without being remotely controlled". Mail Online. March, 3, 2014. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2572067/The-drones-flock-like-BIRDS-Robots-fly-formation-navigate-without-remotely-controlled.html>
- Hawking, Stephen. "Speaking at the unveiling of the Leverhulme Centre for the Future of Intelligence". October 19. 2016. <http://rotter.net/forum/scoops1/355262.shtml>
- Husain, Amir. "AI On The Battlefield: A Framework For Ethical Autonomy". Forbes. November, 26. 2016. <https://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=https://www.forbes.com/sites/forbestech-council/2016/11/28/ai-on-the-battlefield-a-framework-for-ethical-autonomy/&refURL=&referrer=>

- kearns, Jeff. "Satellite Images Show Economic Growing and Shrinking in Real Time." Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/features/2015-07-08/satellite-images-show-economies-growing-and-shrinking-in-real-time>
- Krizhevsky, Alex and Ilya, Sutskever and Geoffrey E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks". Advances in neural information processing systems. 2012. APA
<https://www.nvidia.cn/content/tesla/pdf/machine-learning/imagenet-classification-with-deep-convolutional-nn.pdf>
- Liptak, Andrew. "A US ally shot down a \$200 drone with a \$3 million Patriot missile". The Verge. March 16, 2017. <http://www.theverge.com/2017/3/16/14944256/patriot-missile-shot-down-consumer-drone-us-military>
- Lowther, Adam. "2030 vision - Air Force strategy study looks to long-term critical capabilities". Armed Forces Journal. April, 1, 2011. <http://armedforcesjournal.com/2030-vision/>
- Mackmillan, Steven. "Obama Admits US Drone Strikes Kill Civilian". New Eastern Outlook. April, 13, 2016. <http://journal-neo.org/2016/04/13/obama-admits-us-drone-strikes-kill-civilians/>
- Murray, Campbell and Hoane, A. Joseph and Hsu, Feng-hsiung. "Deep blue". Artificial intelligence 134 .1-2 (2002): 57-83.
- Silver, David. et al. "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search". Nature 529.7587 (2016): 484-489.
- Osborn, Kris. "Air force chief scientists confirms F35 will include artificial intelligence". Defense Systems. Jan, 20, 2017.
<https://defensesystems.com/articles/2017/01/20/f35.aspx>
- Sanches, Annabs. "Watch DARPA's new self-guided bullets turn in mod – flights, following their targets". Futurism. March 17, 2016.
<https://futurism.com/wanted-curved-bullet-now-a-reality/>
- Simonite, Tom. "Self-Driving Cars' Spinning-Laser Problem". MIT Technology Review. March 20, 2017.
<https://www.technologyreview.com/s/603885/autonomous-cars-lidar-sensors/?set=603886>

- Reilly, M.B. "Beyond video games: New artificial intelligence beats tactical experts in combat simulation". UC magazine. June 27. 2016.
http://magazine.uc.edu/editors_picks/recent_features/alpha.html
- Weiner, Robert. "Drones Reduce Number Of American Troops. Former Clinton White House Spokesman Robert Weiner & Defense Analyst Tom Sherman Say Liberals And Conservatives Should Both Advocate Them". PRNewswire. 10 Oct. 2014.
<http://www.prnewswire.com/news-releases/drones-reduce-number-of-american-troops-former-clinton-white-house-spokesman-robert-weiner--defense-analyst-tom-sherman-say-liberals-and-conservatives-should-both-advocate-them-278770111.html>