

עיבוד קדמי בפלטפורמות צבאיות

גיא פאגלין, עוזי שמאי ושניר ניסים¹

עניינו של מאמר זה הוא באבחנה בין יכולת העיבוד בפלטפורמות הצבאיות בקצה לבין העיבוד בענן, על רקע ההתפתחות של יכולות אלה בעולם האזרחי והצורך בשילוב יכולות אלה בעולם הצבאי למול השתנות אופי הלחימה. כמו־כן, מוצע שימוש אפקטיבי וחדש בפלטפורמות היבשתיות, כנושאות חיישנים מתקדמים ומרכזי עיבוד קדמיים במרחב הטקטי, וכמאפשרות קישוריות טקטית במרחב הלחימה (IOBT)², וקישוריות בין הענן ללוחם. שימוש זה "ממציא מחדש" את תפקיד הפלטפורמה ומאגבר את האפקטיביות של הלחימה ביבשה, אך דורש השתנות ביתר אבני בניין הכוח, לרבות ארגון הסד"כ, ההכשרות והאימונים.

מבוא

מאז כניסתן לפעילות מבצעית משמעותית בחילות היבשה, היוו פלטפורמות הלחימה המתמרנות את חוד החנית של כוחות היבשה. כלים אלה לקחו חלק משמעותי כבר לפני 100 שנים, במהפכה בהקשרים הצבאיים שבין מלחמת העולם הראשונה, הסטטית־אסטרטגית (בעידן הטלגרף, השוחות ורכבות הקיטור), לבין מלחמת העולם השנייה, הדינאמית־טקטית³ (בעידן הרדיו, מנוע הבערה הפנימי ולחימת ה'בליצקריג').⁴ אז היווה הטנק ריכוז יכולות של כוח אש, של ניידות ושל מיגון

¹ תת־אלוף גיא פאגלין – ראש מנהלת המרכבה והרק"ם (רכב קרבי משוריין) במשרד הביטחון. מילא מגוון תפקידים מרכזיים בפיתוח הרק"ם ומערכות לרק"ם בכלל והיה אחראי על פיתוח מערכות טנק המרכבה סימן 4, משפחת כלי הנמר ונגמ"ש האיתן בפרט. בעל תואר ראשון בהנדסת אלקטרוניקה, תואר שני במנהל עסקים ותואר שני נוסף במדעי המדינה; סגן־אלוף (מיל') עוזי שמאי – ראש חטיבת רק"ם מתקדם במנהלת המרכבה והרק"ם במשרד הביטחון. בעל תואר ראשון ושני בהנדסה מכאנית ותואר שני בהנדסת מערכת. אחראי על פרויקט מחקר ופיתוח ושיתופי פעולה במנהלת; רב־סרן שניר ניסים – ראש מדור בריק במנהלת המרכבה והרק"ם במשרד הביטחון. מילא מגוון תפקידים במנהלת וכיום מוביל את הפיתוח בתחום הראייה הממוחשבת והבינה המלאכותית ביחידה. בעל תואר ראשון ושני בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה.

² IOBT - Internet Of Battlefield Things

³ דימה אדמסקי. **תרבות אסטרטגית וחדשנות צבאית**. תל אביב: מערכות (2012).

⁴ RMA - Revolution in Military affairs

בנקודה אחת, ומאז התפתח בעיקר בתחומים אלה. עם זאת, **קרבות היבשה עברו טרנספורמציה**, וסביר שלא נחוה קרבות שריון בשריון כפי שהכרנו ממלחמות העולם וממלחמות ישראל בעבר. בעשורים האחרונים, בעקבות השתנות אויב הייחוס החל מצבא מדינתי מתמרן, דרך ארגוני טרור וגרילה ועד ל"צבאות טרור"; לצד למידת האויב את העליונות האווירית והיבשתית של צה"ל – המעבר מלחימה בשטח פתוח ללחימה בשטחים אורבניים; ולבסוף, לחימה תת-קרקעית והישענות, נכון להיום, על שתי מערכות חדשנות מרכזיות תומכות – האחת, מערכת מדינתית (ואף מעצמתית) מזרחית המבצעת למידה באמצעות חיכוך ע"י סוכן (PROXY), דוגמת חזבאללה בלבנון, והשנייה, עצמית, הנשענת על ניצול ועל התאמה של מוצרי מדף (COTS)⁵ לטובתו, צבאיים או מסחריים (דוגמת רחפן המטיל חימוש על פלטרומה). למול שינויים אלה, כאמור, חל שינוי בתפוקה המבצעית הנדרשת מצה"ל בכלל ומהתמרון בפרט, ולכן נדרשה גם השתנות מהותית ביכולות ובתפקיד הפלטרומות היבשתיות. נושא זה ייסקר בהרחבה בהמשך.

במקביל להשתנות שדה הקרב, בעשורים האחרונים ניכר **שינוי יסודי באופן פיתוח מערכות ואמצעי לחימה**, שמאפשר יותר חדשנות בתעשיות הביטחוניות בעולם ובפרט בישראל. השינוי ניכר כבר בשנות התשעים בהיפוך המגמה במשקל המו"פ (מחקר ופיתוח) מהעולם הצבאי לאזרחי, לצד העניין הביטחוני הגובר בסביבה, במוצרים ובטכנולוגיות המסחריות (דוגמת השימוש ברום הקרוב לקרקע ביישומים צבאיים, הסייבר כמרחב לחימה ועוד). מגמות אלו, המקבלות ביטוי מוגבר בישראל, הביאו למעבר מאימוץ מסחרי-אזרחי של טכנולוגיות ומוצרים צבאיים כמו בעבר (Spin Off), לאימוץ טכנולוגיות ומוצרים אזרחיים ולהתאמתן לשימוש צבאי (Spin On). הדוגמה המובהקת ביותר לכך היא השימוש בטכנולוגיות ה-IT, שעל אף שפותחו בידי גורמים ממשלתיים פדרליים לאחר מלחמת העולם השנייה, הן התפתחו באופן מואץ בעשורים האחרונים דווקא ביישומים אזרחיים, דבר שחייב את מערכת החדשנות הביטחונית בכלל, ואת הפלטרומות ביבשה בפרט, לעשות שימוש בטכנולוגיות אלו בכדי לייצר קפיצת מדרגה באפקטיביות המבצעית אל מול התפתחות האיומים וכיום מיושמים בשימושים צבאיים.⁶ בעשורים האחרונים, מתוך טכנולוגיות אלה, עברו ארכיטקטורות העיבוד בענן והיחסיות שבין העיבוד בענן לעיבוד בקצה (בפלטרומה הצבאית או האזרחית) שינויים משמעותיים זה לצד זה, החל מימי המחשב הראשון (אניגמה), דרך ה-MAINFRAME והמסופים, ה-PC (בקצה) על רשת ה-ETHERNET ועד לטלפונים הניידים (בקצה) על רשת הסלולר. הטכנולוגיה האזרחית נכון להיום מסתמכת לרוב על חיישנים פשוטים ועל תשתיות תקשורת מפותחות, המאפשרות איזון מיטבי בין יכולות הפקה וניתוח

⁵ COTS - Commercial Of The Shelf

⁶ גיא פאגלין. "מרץ החידוש" – שינוי פרדיגמה במערכת המחקר והפיתוח הביטחונית". **בין הקטבים** 18 (2018).

נתונים במכשירי קצה בודדים או מבוזרים לבין אלו המתפתחות במחשוב ענף. איזון זה נשמר יחסית בעולם הצבאי, כאשר מדובר ביכולות המיושמות באתרים נייחים ככלל ובמפקדות בפרט, אך הוא מופר כאשר מדובר בפלטפורמות צבאיות יבשתיות מתמרנות, אשר לרוב מבצעות את ייעודן תחת אילוץ של ספקטרום מוגבל וחשוף למתקפות. נושאים אלה ייסקרו בהמשך לצד הגורמים המאיצים של שינויים אלה, והארכיטקטורות הקיימות היום.

המגמה השלישית המתפתחת בעולם ואשר רלוונטית מאוד לפלטפורמות ביבשה (מרכב אוטונומי מסחרי ועד לטנק מערכה) היא **יכולת המיצוי של הבינה המלאכותית**. נעסוק באופן שילובה של בינה מלאכותית כמורידה של עומס תפעולי וקוגניטיבי מהמפעיל, כמשרת זמינות מבצעית⁷ וכמחליפת בעלי תפקידים על בסיס מיכון ואוטומציה. כמו־כן, נסקור את ההתפתחות המעריכית של החיישנים בפלטפורמות ואת התפתחות יכולת העיבוד הקדמי ברמת המיקרו, שתי מגמות המתבססות על "חוק מור"⁸ ומאפשרות את יכולת העיבוד הקדמי של מערכות חישה קרוב לחיישן, זאת על־מנת להקל על הרשת באמצעות תקשורת מבוססת תובנות ולא מידע גולמי, ולאפשר תובנות בזמן אמת. בהמשך תתואר ההתפתחות של הפלטפורמות ביבשה ונעמוד על היתרונות המבצעיים לשימוש בפלטפורמות יבשתיות לעיבוד קדמי בשדה הקרב המודרני.

ההשתנות בייעוד התמרון הממוכן והצורך בהשתנות הפלטפורמות בהתאמה ("למה צריך עיבוד קדמי?" ו"מה צריכה לעשות הפלטפורמה דור 5?")

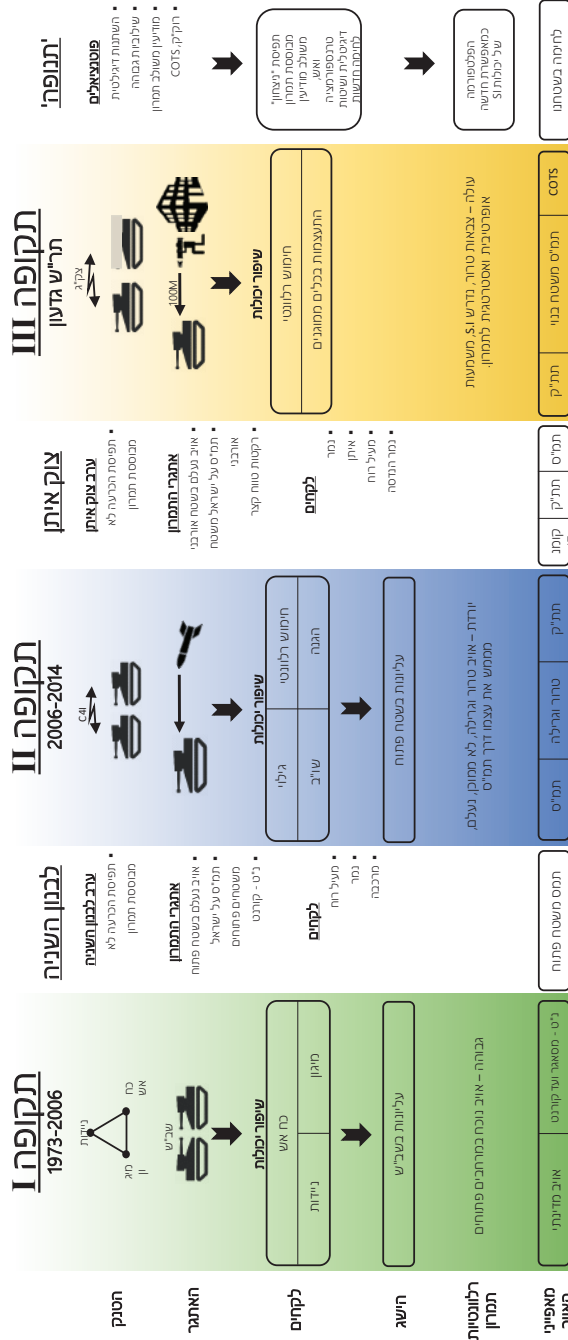
בעשורים האחרונים השתנה איום הייחוס והאויב, ובעקבות כך השתנה ההישג הנדרש מהתמרון היבשתי בצה"ל. בחלוקה הבאה, המתוארת בתרשים 1, מתוארות שלוש תקופות המחולקות על פי היכולות הנדרשות מהפלטפורמה המתמרנת (טנק בעיקר):

בשלב הראשון, שראשיתו במלחמת יום הכיפורים, התאפיין האויב בישראל בכך שהיה אויב מדינתי מתמרן והמלחמות ביבשה היו מסוג "שי"ן בשי"ן", כלומר שריון מול שריון. קרב התמרון האחרון של צה"ל שבו פגש צבא מדינתי מתמרן מסוג זה הוא מלחמת לבנון הראשונה. השתנות האויב למול העליונות היבשתית הצה"לית (לכאורה) הייתה התחלת שימוש נרחב בטילי נ"ט ומעכבי תמרון נוספים, החל מהסאגר של יום הכיפורים ועד לקורנט של מלחמת לבנון השנייה, שהופעל כבר על־ידי כוחות הנטמעים בשטח פתוח. בתקופה זו השתנות הפלטפורמות הייתה בעיקר לצורך שיפור היכולות של כוח אש, ניידות ומיגון, ונמדדה בעיקר על־פי פרמטרים אלה. לדוגמה, טנק המרכבה סימן 3 נחשב כבר אז לאחד מחמשת הטנקים הטובים בעולם,

⁷ DDM - Data Driven Maintenance

⁸ חוק מור (באנגלית Moore's law) הוא תחזית או ניבוי משנת 1965 של גורדון מור לפיה צפיפות הטרנזיסטורים במעגלים משולבים במחיר מינימלי, תוכפל כל שנה וחצי עד שנתיים. (חוק מור - ויקיפדיה)

גנאלוגיה של תמרון ממוכן



תרשים 1: גניאולוגיה של התמרון הממוכן

וכבר בשנת 1999 היה ספק אם צריך לפתח טנק מודרני מתקדם דוגמת מרכבה סימן 4, בעל מיגון בליסטי משמעותי ו"ארכיטקטורה פתוחה", למול אויב שאינו מתמרן. המלחמה המתמשכת בין מפתחי הטילים המזרחיים, נגד המיגון הישראלי והמערכי המתקדם, הביאה לעלייה משמעותית במשקל הכלים ולכן גם בהספק המנועים שלהם, עד לכדי משקל של מעל 65 טון ומנוע בעל הספק של 1500 כ"ס, לטנק זה. תפיסת הלחימה של צה"ל לאחר השלום עם מצרים ולאחר מלחמת לבנון הראשונה החלה להשתנות מלחימה מבוססת תמרון ללחימה מבוססת אפקטים של אש ומודיעין, עד לערב מלחמת לבנון השנייה בתקופת הרמטכ"ל דן חלוץ.

השלב השני בפיתוח הפלטפורמות ויכולתן הואץ בעקבות מלחמת לבנון השנייה, שבה חווה צה"ל כמה מבוכות; מוכנות התמרון היבשתי והימי "חיס, היקף הפלטפורמות הממוגנות שהיה לצה"ל, האויב ש"נעלם" בשטח הפתוח והמשיך לבצע ירי תלול מסלול על מדינת ישראל ו"מלחמות המסכים והפלזמות" – הביאו את צה"ל לקבל מספר החלטות משמעותיות בהקשר יכולות הכלים המתמרנים בתקופה שבין מלחמת לבנון השנייה למבצע "צוק איתן": האחת, החלטה על מעבר לפיתוח מלא (FSD)⁹ של מערכת הגנה אקטיבית לטנקים הראשונה בעולם – מערכת "מעיל רוח"; השנייה, פיתוח כלי לחימה ממוגן מול מתאר האיומים החדשים והצפויים – ה'נמ"ר' (נגמ"ש מרכבה); החלטות נוספות התבטאו בשיפור יכולות התמרון למול "האויב הנעלם" בשטח הפתוח בתחומי השו"ב והגלילי, ובסך הכול התווספו יכולות משמעותיות לתמרון שאף התבטאו בארבעה פרסי ביטחון ישראל. כתוצאה מכך, בואכה "צוק איתן", לצה"ל כבר הייתה כמעט חטיבה שלמה של נמ"רים וחטיבת "מעיל רוח" ראשונה על גבי טנקים. תפעול מערכות אלו שהוטמעו בכלים המתמרנים היוותה שינוי משמעותי בעבורם, ואפשרה את לחימתם קרוב לאויב בשטח האורבני בביטחון גבוה יחסית.

תובנה נוספת שעלתה כלקח ממלחמת לבנון השנייה הייתה ההבנה כי "צה"ל אינו יכול למצות את עוצמתו כלפי אויבים הנוקטים בטקטיקה של היעלמות ומחזיקים ביכולות אש משמעותיות אלא באמצעות מודיעין פרטני ומדויק ביותר המונגש לכוחות ברמה המיקרו טקטית". תובנה זו דרשה מאמ"ן "לשנות את כל מימדי הפעולה שלו, ואת התיעדוף שהוא נותן למשימות האיסוף לצורך מודיעין טקטי ביחס למשימות אחרות".¹⁰ אלא שמעבר לתעדוף האיסוף הטקטי, נדרש אמ"ן לעסוק ברלוונטיות של העושר המודיעיני המעובד במפעלים האחוריים ואשר לא תמיד מגיע ליעדו בקצה המבצעי בתזמון הנדרש. על כן, החל אמ"ן לבחון כל פלטפורמה והזדמנות לאיסוף, לעיבוד, לשילוביות ולבין-מדרגיות.

השלב השלישי בפיתוח פלטפורמות ויכולות לפלטפורמות המתמרנות הצה"ליות הינו תקופת הלמידה ממבצע "צוק איתן". פלטפורמות אלו יושמו החל מתר"ש

⁹ FSD - Full Scale Development.

¹⁰ אביב כוכבי וערן אורטל. "מעשה אמ"ן – שינוי קבוע במציאות משתנה". **בין הקטבים** 2 (2014).

גדעון, ובמרכזן הלמידה מפעולות הצד האדום אשר עבר אף הוא שינוי משמעותי: המעבר מהלחימה בשטח הפתוח לשטח הפתוח והאורבני, כמאפיין של 'צבאות טרור'; ירי תלול מסלול משטח צפוף לצד אוכלוסיה בלתי-מעורבת והבריחה לתווך התת-קרקעי; יישום של פעולות קומנדו 'מעבר לקווים' וניסיון לתקוף גם בשטח ישראל; השימוש הטכנולוגי בשתי מערכות החדשנות שפורטו לעיל; והפעולה המורכבת בכלל הממדים החדשים במערכה, לרבות סייבר, רוק"ק וספקטרום. למול מגמות אלה פותחו בצה"ל כלים חדשים, דוגמת ה"איתן", פלטפורמת רק"ם גלגלי הממוגן ביותר בעולם, בעל יכולות לחימה אורבניות משופרות, תחמושת חדשה רלוונטית לטנקים בסביבה אורבנית, וכן יכולות נוספות. דוגמה לכך היא הפנמת התובנה כי מערכת ההגנה האקטיבית הכוללת מכ"ם, לצד אותה ארכיטקטורה פתוחה שפותחה בעבור טנק המרכבה סימן 4 בשנת 2000, מאפשרת נוסף על יכולת ההגנה גם יכולות אחיזה שטח, איתור אויב וסגירת מעגל אש.

בתקופה הנוכחית, מאז תר"ש 'גדעון' ועד היום, שלהי תר"ש 'תנופה', עדיין קיים פוטנציאל יכולות טכנולוגי גבוה שאינו מנוצל, המאפשר מקסום של הישגי התמרון המשולב הרב-זרועי, שאחת ממטרותיו "פירוק אסטרטגיית ההיעלמות של האויב משדה הקרב, והתגברות על תופעת היעילות הפוחתת של מערכה המבוססת על אש".¹¹ פוטנציאל זה נשען על היכולת להכיל חיישנים חדשים רגישים ואפקטיביים לחשיפת אויב - היכולת לעבד אותן בזמן אמת ולהתיך את המידע עם המידע החקור מראש - והיכולת לסגור על האויב מעגל אש בזמן קצר. במהלך הלחימה ב"צוק איתן" וכלקח נוסף ממנה, כמויות אין-סופיות של מידע רלוונטי לא נוצלו במלואן: החל מהמידע שנוצר על-ידי מערכות ההגנה האקטיבית עצמן והסנסורים השונים שעל גבי הכלים ועד למידע המטכ"לי הרלוונטי שלא הגיע לקצה המבצעי ולא עובד על-ידו. פוטנציאל נוסף טמון בהזדמנות הנובעת מעצם שימוש האויב באמצעים טכנולוגיים, מה שמגדיל את ה"חתימה" שלו (ההשפעה על המרחב) ומאפשר לחשוף אותו בממדים נוספים. לדוגמה, שימוש בתקשורת מאפשר את חשיפת השידורים; שימוש ברחפנים אזוריים מאפשר את ניטרולם ביתר קלות ועוד.

במדינה המהווה את אחד ממרכזי ההייטק העולמיים, בשיאה של המהפכה העולמית התעשייתית (4.0) של המידע, הסייבר וה-IT, ולמול אויב הנוכח באופן עקרוני במרחב האורבני והתת-קרקעי - מתבקש לנצל את פוטנציאל הטרנספורמציה הדיגיטלית וההישענות על מוצרים וטכנולוגיות מדף (COTS) לשיפור אפקטיביות התמרון הצה"לי הרב-ממדי וכלל יכולות צה"ל. לפלטפורמות המתקדמות הצה"ליות, הממוגנות ביותר בעולם (מרכבה, נמ"ר והנגמ"ש החדש הגלגלי - איתן) קיימת כבר שני עשורים ארכיטקטורה פתוחה המאפשרת הוספת יכולות לפלטפורמות באופן פשוט ובפוטנציאל גידול משמעותי, בין אם הן צבאיות או אזרחיות. ריבוי החיישנים

¹¹ אמיר הרפז. "תפקידי החדשים של התמרון היבשתי". **מערכות** 431 (2010).

על גבי הכלים הממוגנים מאפשרת את נוכחותם של החיישנים קרוב למרחב הלחימה (STAND IN) וכן את ההיתוך בין החיישנים השונים על גבי הפלטפורמה. נוסף על כך, היכולת של כלים אלה לייצר אנרגייה ובזכותה גם קישוריות גבוהה, מהווה הזדמנות ליצירת מכונת לחימה אפקטיבית הרבה יותר בשילוב עם יתר הפלטפורמות ביבשה בפרט ובצה"ל בכלל.

הצטיידות באמצעי חישה מתקדמים, פיזורם במרחב בכמויות גדולות וחיבורם ברשת תקשורת, מחייבת ארכיטקטורת רשת אופטימלית שתאפשר את איתור האויב הנעלם בזמן (טרם ירה לעבר כוחותינו), ואת השמדתו בזמן קצר באמצעות סגירת מעגל אש מהירה. הארכיטקטורה צריכה לאפשר את עיבוד המידע המגיע מכלל החיישנים שעל גבי הפלטפורמה ומיזוגו עם מידע המגיע מפלטפורמות שכנות, לרבות רחפנים וכטב"מים צה"ליים, ומכלל המידע הטקטי הנגיש, וכל זאת בזמן אמת.

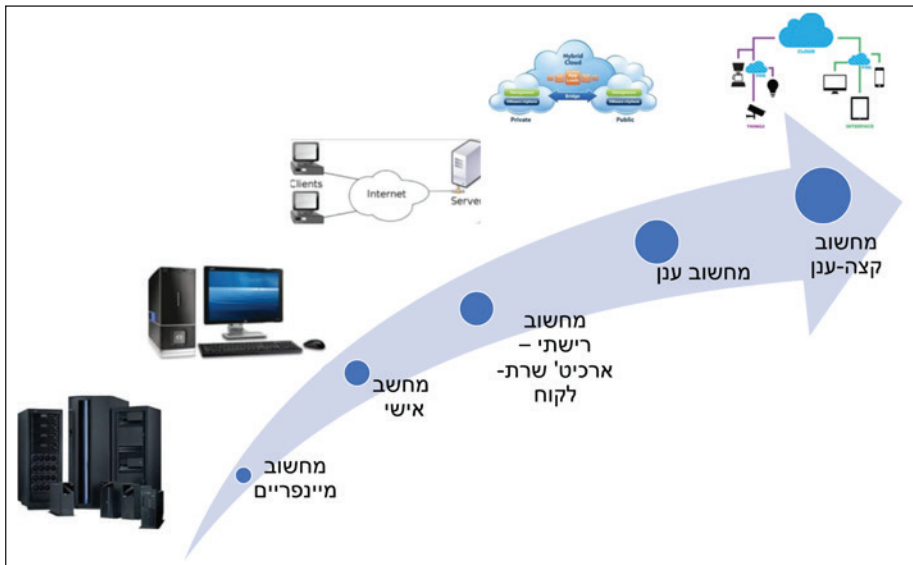
המאפשר העיקרי למימוש ארכיטקטורה מסוג זה היא הפלטפורמה הממוגנת, המייצרת אנרגייה, יכולת עיבוד קדמי וקישוריות כמעט ללא הגבלה, במרחב הלחימה הטקטי. בעתיד, עם הבשלתן של פלטפורמות מאוישות מרחוק ביבשה, יקחו גם הן חלק מארכיטקטורה זו, ויחברו למרחב הטקטי לצורך "עיבוד" קדמי של התוצרים שלהם.

למעשה, במבט כולל של הנדרש מפלטפורמות לחימה בשדה הקרב לאורך הדורות, חל שינוי מהותי במאפיינים הנדרשים מהפלטפורמה כפלטפורמה בודדת בעלת יכולות אש, מיגון וניידות, לפלטפורמה מתמרנת ומקושרת לקבוצת לחימה המאפשרת את עירור השטח, את הבנתו ואת אחיזתו. ממאמץ תמרון לצד מאמץ אש ומודיעין נולד מאמץ משולב חדש של תמרון, אש ומודיעין.

עיבוד בקצה ועיבוד בענן בעולם האזרחי

בשנות השישים והשבעים של המאה הקודמת, הארכיטקטורה המרכזית שבה נעשה שימוש בעולם המחשבים הינה "מחשב מרכזי" – מיינפריים, כפי שניתן לראות בתרשים 2.

המחשב המרכזי הראשון, אניגמה, הוא תוצר של פיתוח צבאי, שבמקור נועד לפצח את ההצפנות של הגרמנים במלחמת העולם השנייה. לאחר שהחל שימוש מסחרי במחשבים מסוג זה (SPIN OFF משימוש צבאי), אפשרה ארכיטקטורה זו לארגונים גדולים להריץ מספר רב של יישומים ולבצע פעולות עיבוד שונות על נתונים אלו על-ידי גישה ממסופים, שהיו למעשה מסכים פשוטים שהציגו "שולחן עבודה מרוחק". כאשר החל השימוש המסחרי בטכנולוגיית המחשב לצרכים פרטיים (המחשב האישי – PC, ש"חיסל" את הארכיטקטורה שקדמה לו), ולאחריו הופעת האינטרנט בשנות התשעים, החלה התפתחות מואצת של השוק בארכיטקטורה של ביזור עם מודל של שרת-לקוח, שבו קיימת יכולת חישוביות מוגבלת בצד הלקוח, אשר מייצר בקשות עיבוד מול צד השרת.

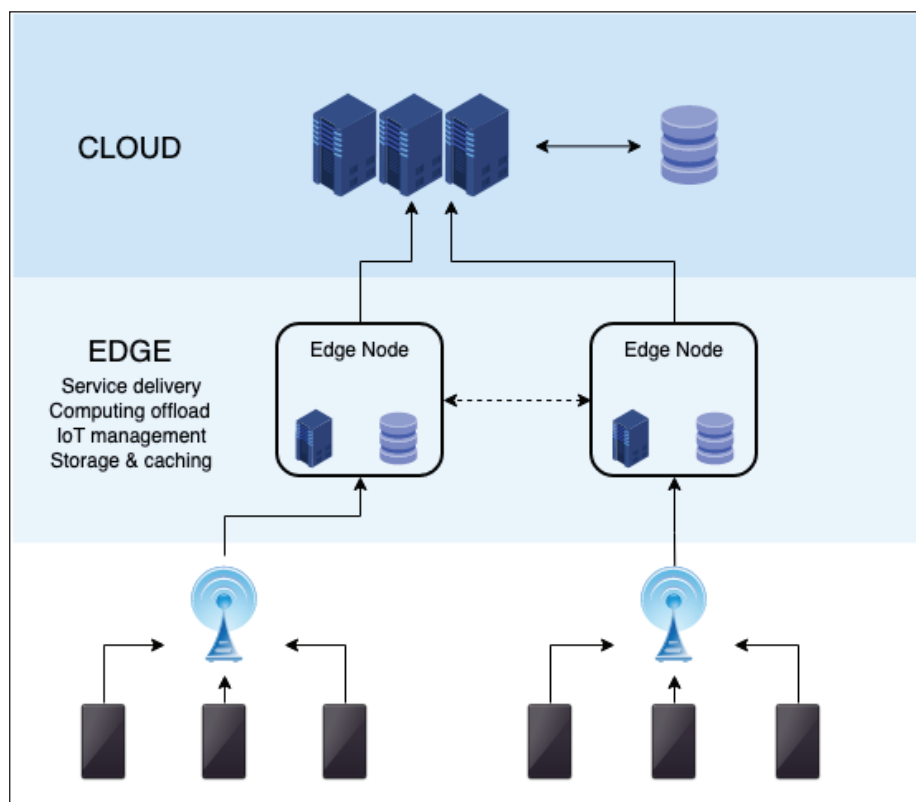


תרשים 2: התפתחות הרשתות

הארכיטקטורה השלישית שהתפתחה הינה ממשקי המובייל והענן, שהחלה במחצית העשור הקודם וממשיכה להתפתח הן בצד המובייל והן בצד הענן עד היום (שוב על חשבון הדור הקודם - ה-PC). בארכיטקטורה זו מאפשרות ספקיות התקשורת ליותר משתמשים לגשת לאותה חומרה בענן. המגמה הבאה, שהניצנים שלה החלו בשנתיים האחרונות, היא מחשוב קצה מתקדם ומבוזר בעל יכולות עיבוד וחשישה משמעותיות. דוגמה למימוש המודל החדש היא כלי הרכב בכלל וכלי הרכב האוטונומיים בפרט. כל מכונית אוטונומית מייצרת כחמישה טרה-בייט של מידע גולמי ליום, מה שמייצר אתגר בלתי אפשרי בהעלאת הנתונים לענן לעיבוד ולהחזרת תוצאות רלוונטיות לרכב בזמן אמת. את התהליכים האלה של שינוי ארכיטקטוני בתפיסת המערכת, והדיאלקטיקה המשתנה בין עיבוד במרחב משותף (אינטרנט בעבר ו-IOT היום) לבין יחידת הקצה, תומכת ההתפתחות המעריכית המתמדת ביכולות החישוב והחשישה של יחידת הקצה. זאת לעומת התפתחות איטית משמעותית של יכולת הרשת לשאת את העומס הנדרש הגובר, וההתפתחות האיטית של יכולת אגירת האנרגיה ביחידת הקצה.

בתרשים 3 ניתן לראות את ארכיטקטורת החישוב בקצה כפי שנפוץ לתארה כיום. ארכיטקטורה זו כוללת מכשירי קצה ניידים בעלי חיישנים רבים, יכולת עיבוד משמעותית ותקשורת מגוונת ורחבת סרט. מכשירי הקצה מתקשרים עם תחנות בסיס מקומיות המאפשרות העברת מידע ממספר רב של מכשירים לתחנות עיבוד קצה קדמיות קרובות המאפשרות ניהול שירותים מרובים, חישוביות חזקה, אנרגיה וזיכרון בזמנים קצרים. תחנות אלו הן בעלות קישוריות ביניהן (שאינה הכרח)

וקישוריות רחבת סרט ואנרגטית ליכולות ענן לשימושים שאינם מחייבים זמן אמת. למגמת התפתחות העיבוד הקדמי ומחשוב הקצה, מספר מאיצים טכנולוגיים במגוון תחומים: בראשם, חוק מור הממשיך להיות תקף, כפי שניתן לראות בהתפתחות יכולת החישוביות בליבת עיבוד בודדת. לצד ההתפתחות הטבעית ביכולות החישוב, חל גידול מעריכי בכמויות המידע המיוצרות על-ידי חיישנים בקצה הנובע מגידול ברזולציית המצלמות, הוזלה משמעותית של החיישנים ומזעור.



תרשים 3: ארכיטקטורת חישוב בקצה (By NoMore201)¹²

מגמת העיבוד הקדמי אינה רק בהקשר של הדיאלקטיקה בין הרשת לבין הפלטפורמה, אלא גם ברמת המערכת עצמה. לדוגמה, האבולוציה של מערכת תצפית מסויימת הנמצאת בטנק המרכבה, אשר התחילה ממחוש אופטי עם 2 תיבות עיבוד אלקטרוניות, כל זה בנפח ומשקל מכובדים בתוך הפלטפורמה. ככל שחלפו הדורות, גדלה הרזולוציה של הגלאים האלקטרואופטיים (כלומר נוצר יותר מידע) ובמקביל השתפרה יכולת החישוב, כך שנוצרה מגמה המצמצמת את נפח המחשוב והתקשורת

¹² NoMore201 - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82034067>

הנדרשת תוך גידול מעריכי בכמות המידע. תוך מספר דורות הצטמצמו המחשבים התומכים לאפס, ואלקטרוניקת העיבוד הקדמי של החיישן הפכה לצמודת המוחש עצמו (הכוונת) ובהמשך אינטגרלית עם הגלאי.

מכפלת כמות המידע המופקת מכל חיישן בכמות החיישנים המתפזרת בתפוצה רחבה כחלק מארכיטקטורת ה-IOT (Internet Of Things), מחייבים את יישומה של ארכיטקטורה היררכית בין עיבוד מידע בחיישן עצמו, העברתו לעיבוד בתחנות קצה גדולות יותר ומשם בהינתן רשת תומכת לענן.¹³

ההבדל בין ארכיטקטורת עיבוד המידע בפלטפורמה מסחרית לבין פלטפורמה צבאית מתמרנת

כפי שהוצג והודגם בפרק הקודם, עיבוד בקצה רלוונטי ונדרש בעולם האזרחי לאור ההתפתחויות בכמויות המידע המיוצרות על-ידי חיישנים, יכולות החישוב והרשת, בעיקר בעולם ה-IOT כדוגמת ערים חכמות, מכוניות אוטונומיות, מפעלים מתקדמים.

גם בעולם הצבאי הפוטנציאל לשימוש בטכנולוגיית ה-IOT¹⁴, היכולת לבצע עיבוד קדמי, Stand-In, בפלטפורמה או במרחב שבה היא נמצאת, רלוונטי ונדרש לצד ההתפתחות בחיישנים והמידע בקצה, שמרביתו מרוכז בפלטפורמות מאויישות או רובוטיות (כחלופה המאפשרת, למשל, הפעלת רוק"ק בעומק).

אתגרי העולם הצבאי אל מול העולם האזרחי, בעיבוד קדמי בקצה, באים לידי ביטוי באופן המובהק ביותר בנקודות הבאות:

- **אתגר הניידות** – התמרון הממוכן נייד מעצם טבעו, ומתנייד במרחב גאוגרפי ללא גישה מוקדמת, לפיכך לא יכול להסתמך על תשתיות קבועות, כמרכיב כל יחידת קצה מוגבלת בנפח, במשקל, ובאנרגיה שהפלטפורמה מאפשרת לשאת.
- **אתגר הרשת** – מכיוון שהרשת הינה אלחוטית בלבד ולא מסתמכת על תשתיות קבועות, היא מוגבלת בסיסית על-ידי הספקטרום, התווך הגאוגרפי ואיום השיבוש.
- **דרישות RT** – תוצרי עיבוד המידע משמשים לרוב בהפעלת מערכות נשק המחייבות תגובתיות מהירה על-מנת לאפשר בטיחות גבוהה, וערך מבצעי המתאפיין בסגירת מעגלי אש מהירה, מול מטרות בעלות זמן חיות קצר. עניין זה קיים גם ברכבים אוטונומיים בעולם המסחרי ולכן קיימת התפתחות טבעית של הטכנולוגיות התומכות דרישה זו.
- **עבודה בתנאי סביבה** מחמירים (יום/לילה, רעידות, אבק, הלמים מכאניים

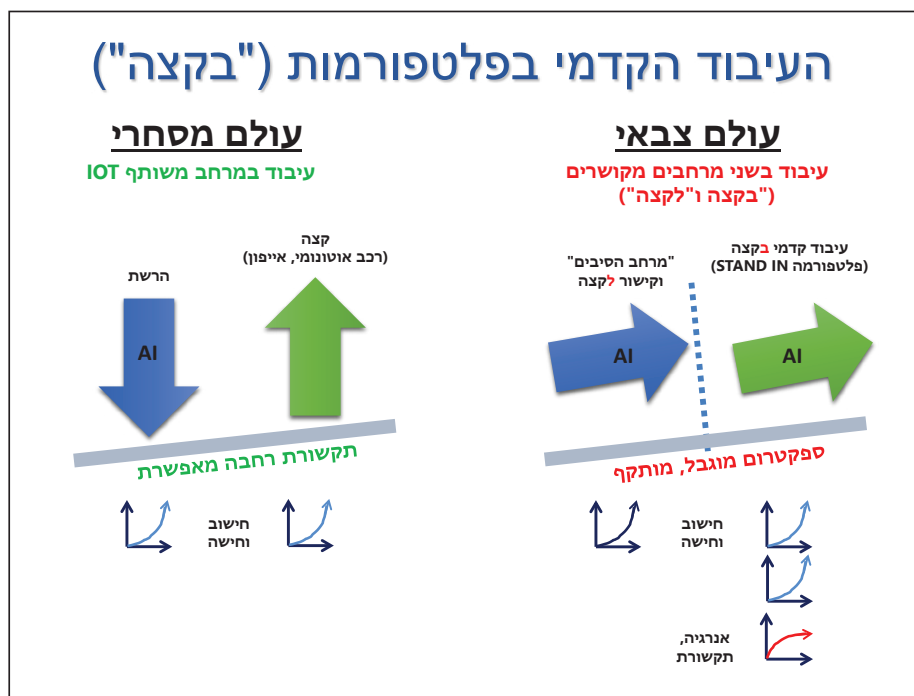
¹³ Jad Jebara and Rajan Sodhi. "Edge Computing vs Cloud Computing". *IEEE computer society*.

¹⁴ N. Suri et al., "Analyzing the applicability of Internet of Things to the battlefield environment". *2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICMCIS.2016.7496574.

וטרמיים וכו') מחייב שימוש בחומרות יחודיות המייצרות מגבלות הנדסיות שונות.

- משך פעילות רציפה – כמות האנרגיה וזמינותה מוגבלים ביכולות לוגיסטיות של תדלוק ו/או החלפת סוללות.

לנוכח אתגרים אלו, אנו עדים לתופעה שהוגדרה כ-Spin On¹⁵, מעבריות של טכנולוגיות מהעולם האזרחי לצבאי, כהיפוך מגמה המתרחש בשנים האחרונות.¹⁵ היפוך מגמה זה מתחזק גם לאור כוחות השוק, הגוררים השקעות אזרחיות משמעותיות יותר במחקר ופיתוח אל מול אלו המתבצעות בתחומים הצבאים.



תרשים 4: העולם הצבאי (מימין), המתאפיין ביכולות חישוב וחישה הגדלות אקספוננציאלית מול העולם המסחרי (משמאל), הנשען על תשתית תקשורת המאפשרת איזון

לצד היפוך המגמה במעבריות הטכנולוגית, גם העולם האזרחי וגם העולם הצבאי מתאפיינים ביכולות חישוב וחישה הגדלות אקספוננציאלית בקצה. עם זאת, קיים גידול הפוך בתווד התקשורת וביכולת ייצור האנרגיה המתאפיין בקצב התפתחות טכנולוגי איטי יותר באופן משמעותי. ההבדל המשמעותי ביותר בין העולם הצבאי לאזרחי הינו הרשת, כמוצג בתרשים 4. הרשת בעולם האזרחי מייצרת איזון ומרחב עיבוד משותף בין יכולות הענן ויכולות הקצה, ותורמת להתפתחות המואצת של

¹⁵ גיא פאגלן. "מרוץ החידוש, טכנולוגיות מסחריות וצבאיות באמצעי לחימה – נקודת האיזון המתאימה". המכללה לביטחון לאומי (2018).

הטכנולוגיות בשני המרחבים. לעומת זאת, בעולם הצבאי, קיימת לסירוגין קישוריות בין העולמות, אך זו לרוב מוגבלת לאור צורכי הניידות, מוגבלות הספקטרום והיותו מותקף כחלק מהלחימה. מוגבלויות אלו, לצד האתגרים המובאים לעיל, מייצרות שני מרחבי עיבוד מקושרים (בקצה ולקצה) שאינם מהווים מרחב עיבוד משותף בזמן אמת, בדומה לעולם האזרחי. על כן, טכנולוגיות המבצעות Spin On, מצריכות ארכיטקטורה המאפשרת לנצל בצורה מיטבית את יתרונותיהן – למשל, קיומו של IOBT בשדה הקרב באמצעות פלטפורמה.

בינה מלאכותית בקצה

רבות נכתב על בינה מלאכותית ועל יכולתה לתרום בשדה הקרב בזמן אמת באופן טקטי. כאשר מדובר על עיבוד בקצה, מרבית האלגוריתמים כיום כבר אינם מבוססים על עיבוד קלאסי של למידת מכונה (Machine Learning) כדוגמת רגרסיה, K-means ודומיהם, שכן רשתות נוירונים תפסו את מקומם של מרבית אלו.

רשתות נוירונים על סוגיהן, מאפשרות כיום מגוון של יכולות טקטיות פרקטיות כדוגמת: הורדת עומס תפעולי וקוגניטיבי על המפעילים, אחזקה חזויה כמשפרת זמינות מבצעית וכמחליפת בעלי תפקידים על בסיס מיכון ואוטומציה, למשל, "תצפיתן" רחפנים, "מאבטח" היקפי לטווחים קרובים וכדומה.

דוגמאות לשימושיות של רשתות נוירונים ("בינה מלאכותית") בתהליכים טקטיים:

- **סגמנטציה:** רשתות סגמנטציה מאפשרות ביצוע של ניתוחי שטח אוטומטיים על בסיס מצלמות שונות ו"לימוד" מכונה אוטומטית כיצד לחקור גזרה מסוימת ביעילות גבוהה יותר, כפי שמלמדים לוחמים על שטחים שולטים ונשלטים.
- **קלסיפיקציה:** pipeline עיבוד וידיאו, המבוסס על רשתות קלסיפיקציה לסוגיהן, מאפשר מלבד איתור אובייקטים רצויים בתמונות ע"פ הצורך המבצעי המוגדר, גם איתור של תרחישים מורכבים המורכבים ממספר אירועים פיזיקליים שונים אשר בעבורם "רלוונטי" למשוך תשומת לב מהמפעיל.
- **חיזוי:** חיזוי תקלות מבוסס מערכות לומדות ורשתות נוירונים, מאפשר כיום לבצע חיזוי של תקלות טוב יותר על בסיס מספר מועט של חיישנים ואירועים, שהינם לכאורה בלתי תלויים. הסקת מסקנות זו מאפשרת צמצום של שגרות אחזקה שמייצר התייעלות כלכלית מיידית וזמינות מבצעית גבוהה יותר.
- **זיהוי קולי:** עוזרות קוליות הינן חלק בלתי נפרד מחיינו ומהדרות כיום כל בית חכם. שימוש מבצעי טקטי ביכולות זיהוי דיבור המבוססות על רשתות נוירונים, מאפשר, למשל, הורדת עומס תפעולי על ידי האזנת המכונה לרשת הקשר ויצירת תמלול שלו.

- **עיבוד תמונה:** שיפורי תמונה מבוססי רשתות נוירונים מאפשרים כיום מגוון של יכולות טקטיות כדוגמת – תמונה צבעונית במצלמות תרמיות, קבלת תמונה מיטבית ממצלמות יום בתאורה נמוכה, אומדן מרחקים על בסיס

מצלמה אחת (monoDepth) ועוד.

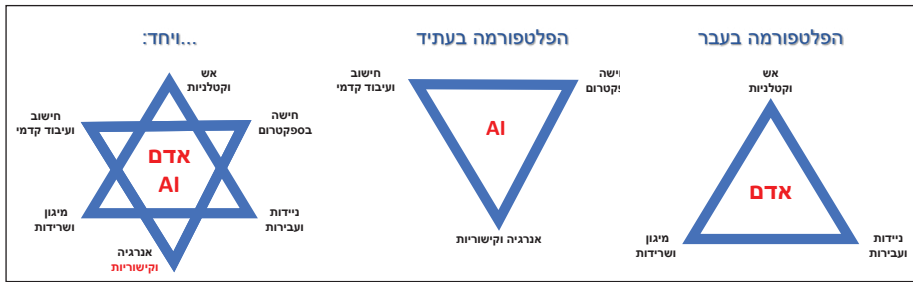
- **למידה מחיזוקים (Reinforcement):** שימוש במערכות סימולציה מתקדמות ואלגוריתמי ניתוח שטח, על-מנת לייצר המלצה על מסלולי נסיעה מיטביים.
- **מדעי הנתונים:** שימוש ברשתות לזיהוי מגמות בכמויות נתונים גדולות (נעדף שלא לסנן התראות שווא אלא לעבד את כלל המידע הגולמי מהחיישנים בכדי לקבל תמונת מצב רחבה ככל הניתן) והצלבה שלהם בין יצרני נתונים שונים על-מנת להפיק את המרב מעושר המידע.

מגוון יכולות החישה האפשריות על גבי פלטפורמות, בשילוב עם מגוון היכולות שהוזכרו לעיל, מהוות את מהותו של העיבוד הקדמי. מנקודת מבט זו, ניכר כי הזרמת כלל המידע המתקבל מהחיישנים השונים על גבי הפלטפורמות או בקרבתן לליבות עיבוד ב"מרחב הסיבים", על-מנת לבצע עיבודים שונים כדוגמת אלו שהוזכרו, לא רק שאינו מתאפשר לעיתים בגלל ניתוקי תקשורת, אלא מחייב תקשורת רחבת סרט איתנה, שאינה סבירה ליישום יעיל בפריסה רחבה בתמרון ובטח שלא בעומק.

הפלטפורמה וארכיטקטורת עיבוד קדמי

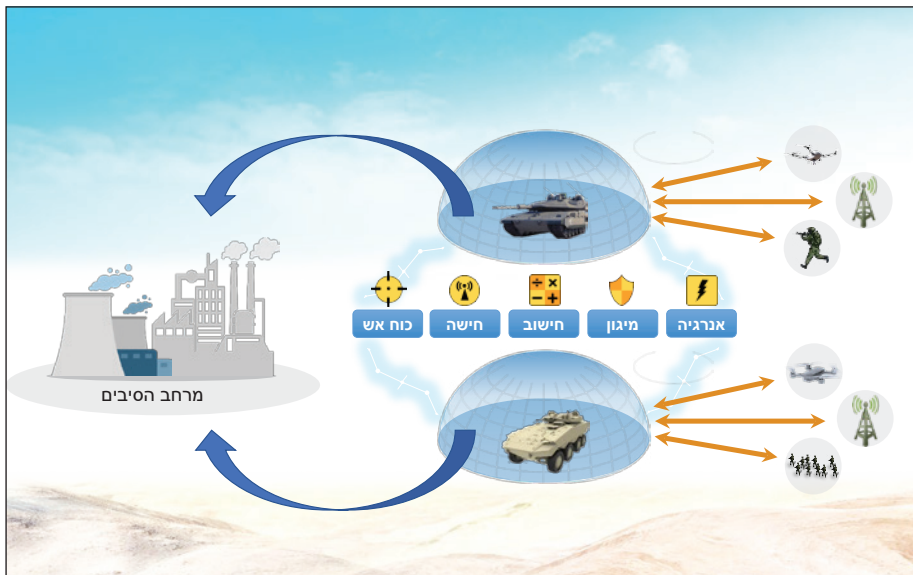
פלטפורמה צבאית מוגדרת כ"כלי נייד אשר נושא ומשתמש במגוון של ציוד יעודי המאפשר ביצוע משימות צבאיות הדרושות בשדה הקרב"¹⁶, כלומר, אוסף של יכולות המרוכז באמצעי יחיד. ביבשה, הפלטפורמות הרלוונטיות העדכניות נכון להיום הן טנק המרכבה, משפחת כלי הנמ"ר והאיתן. במהלך השנים שיפר צה"ל את יכולות התמרון שלו, הן באמצעות פלטפורמות מאויישות מתקדמות יותר (בפרמטרים הבסיסיים של מיגון, קטלניות וניידות) והן באמצעות יכולות חדשות על גבי פלטפורמות אלו. כבר לפני שני עשורים, עם פיתוח טנק המרכבה סימן 4, נולד צורך בתכונה רביעית לכלים: יכולת האינטגרציה של יכולות חדשות (אדפטיביות) ולצורך זה הוגדרה כבר אז ארכיטקטורה פתוחה בכלים. יכולת זו אפשרה את התקנת מערכת ההגנה האקטיבית "מעיל רוח" בכלים, באופן שלא רק מאפשר פשטות אלא גם ניצול הנכסים שבמערכת זו לצרכים נוספים מאשר הגנה, תוך קיום אינטגרציה עם יתר המערכות בכלי. במקביל להשתנות שדה הקרב ולהיפוך המגמה באימוץ הטכנולוגיות, נוצרה הזדמנות לשינוי חדש ודיסרפטיבי באמצעות עיבוד קדמי בפלטפורמה מרובת סנסורים, בדומה לשינוי שחל בעולם המסחרי עם היווצרותה של רשת מקשרת בין יחידות עיבוד (ראה ההתפתחות מה-MF ל-PC לסלולר). **יכולתה של הפלטפורמה בשדה הקרב לשמור על עצמאות ביכולת החישה, העיבוד והיתוך המידע, הבינה המלאכותית, האנרגייה והקישוריות לעולמות התוכן של העיבוד האחורי מאפשר "אוקיאנוס כחול" של יכולות חדשות לקצה הטקטי כמו אלה שאיפשר האינטרנט והסלולר. כך הופכות הפלטפורמות להיות תחנות עיבוד מידע קדמיות (תרשים 5).**

¹⁶ <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-are-military-and-intelligence-platforms>



תרשים 5: התמורות ביכולות הפלטפורמות ביבשה

תפיסת המערכת של מערכות (SYS OF SYS) שאפיינה לפני שני עשורים את טנק המרכבה סימן 4 מתרחבת לתפיסת SYSEM מרובת פלטפורמות ומרובת שחקנים. נוסף על כך, הפלטפורמה מחפה על פערי התקשורת, באמצעות נשיאת תחנות קצה המקושרות למרחב העיבוד האחורי מחד גיסא, ומייצרות תשתית דמוית IOT (Internet of Things) מקומית הממצה את כלל יכולות החישה של הפלטפורמה ושל הכוחות הסובבים אותה. יש להבהיר כי הכוונה היא במימוש מערכת זמן אמת (RT) ולא מערכת שליטה ובקרה (שו"ב) שלה קבועי זמן ארוכים יותר ולא מידיים.



תרשים 6: ארכיטקטורת העיבוד הקדמי - "מרחב הפלטפורמה"

מימוש ארכיטקטורה זו, כפי שמתואר בתרשים 6, כאשר כל פלטפורמה יבשתית מהווה למעשה מרכז עיבוד קדמי, הכולל אנרגיה שמאפשרת את המשימה, יכולות חישוב משמעותיות וחיישנים מורכבים המעשירים את תמונת הקרב; לצד מיגון המשמר את יכולת העמידה במשימה, ניידות וכוח אש המאפשרים סגירת מעגלים

מהירה - מאפשרת לכלל הגורמים הנמצאים ב"מרחב הפלטפורמה" להתממשק אליה, להשתמש ביכולות החישוב שלה, להעצים את יכולת החישה שלהם עצמם על סמך חיישני הפלטפורמה וכמובן לייצר סגירות מעגלי אש יעילים. מודגש גם כי שילוב סנסורים רבים ואף זולים, בעלי FAR (False Alarm Rate) גבוה (שלילי) יחד באותה פלטפורמה, יוצר, בהינתן עיבוד קדמי ובינה מלאכותית, יכולת לקבל תוצר משמעותי ואפקטיבי לא פחות מקיומם של סנסורים מדויקים מרחוק.

מאפיינים חשובים בתכנון ארכיטקטורת העיבוד הקדמי ב"מרחב הפלטפורמה"

אבטחת מידע

בהעברת מידע מחיישנים מרובים, ברשתות רחבות סרט לטווחים רחוקים, קיים אתגר באבטחת המידע בתווך מפני תוקף פוטנציאלי היכול ליירט את המידע ולמנוע את העברתו, להאזין לו ולהכיר את תוכנו או במקרים מסוימים לשנותו ולייצר מצג שווה לצרכן המידע. השימוש בפלטפורמה כמרכז עיבוד קדמי, אשר היא עצמה מייצרת את המידע על בסיס החיישנים שעליה או על בסיס חיישנים הנמצאים בשדה הקרוב שלה, מצמצם את טווחי העברת המידע ובעקבות זאת גם את פגיעותו. הפלטפורמה עצמה יכולה לבצע היתוכי מידע שונים, הסקת מסקנות ומיצוי על סמך כוח החישוב שאותו היא נושאת, וכך, במידת הצורך ויכולות התקשורת, להעביר לאחר את המידע הדרוש באופן מוצפן אשר חשוף פחות להתקפות ופחות מוגבל אנרגטית.

השהיות ועלויות-תועלת

כמות חיישנים רבה, כאשר כל חיישן בעל רזולוציית מידע הולכת וגדלה, מייצרת כמות מידע משמעותית. ככל שזו הולכת וגדלה, רוחב הפס הדרוש והזמן להעברת המידע לעיבוד אחורי מאבדים מיתרונות הפשטות של אמצעי הקצה, שארכיטקטורת מחשוב ענן כן מאפשרת. שימוש בפלטפורמה מאפשר צמצום טווחים והשהיות מידע, תוך מיצוי והיתוכו לכדי מידע טקטי רלוונטי ופשוט, שהינו קריטי לקבלת תמונת מצב בזמן אמת של שדה הקרב.

יכולת גידול אינסופית ותפיסת התמרון הרב־ממדי כ"מערכת"

לצד היתרון שבביזור היכולות, כך שבכשל בודד אין כשל מערכתי שלם, אחד החסרונות המשמעותיים של ארכיטקטורת IOT הינו שבכל שדרוג הדרוש ביכולות המחשוב ו/או החישה, נדרשת הוספת מכלול שלם הכולל יכולת חישוב, חישה, תקשורת אנרגייה וכו'. שילוב של פלטפורמה מרכזית, בארכיטקטורה זו, מאפשר "ליהנות" משני העולמות. כך במידה ונוספה כמות חיישנים המחייבת יכולת חישוב משמעותית יותר ו/או תקשורת רחבה יותר, שדרוג פלטפורמה הבנויה בארכיטקטורה פתוחה, כתחנת בסיס היודעת לקלוט ולעבד כמות חיישנים גדולה יותר, הינה לרוב

פשוטה ומהירה יותר מאשר שדרוג הרשת הראשית כולה או הגדלת סיבוכיות החיישנים הנוספים.

שימוש בארכיטקטורה זו מאפשר יצירת חיישנים מרובים בשדה הקרב, בין אם כאלו הנישאים על חיילים ובין אם כאלו המפוזרים בשטח באמצעים אחרים, תוך חיסכון ביכולות העיבוד והתקשורת הנדרשים מכל אחד מהם, כאשר הוא מסתמך על ממשקים לפלטפורמה, בדומה לשיטת ה-IOT בעולם האזרחי.

על סמך השיקולים שהוצגו לעיל, מובהק הצורך כי החיישנים בשדה הקרב, אשר משרתים את הכוח הלוחם צריכים גם הם להיות קרובים מספיק ל"תחנת העיבוד הקדמית" שלהם, על-מנת לאפשר להם את כלל היתרונות והמגמות שנידונו. כלומר, נרצה ש"תחנת העיבוד הקדמית" תדע קודם כול להיות "נוכחת" קרוב ככל האפשר אל החיישנים, וכך לאפשר להם להיות דלי הספק בעלי תקשורת פשוטה יותר אפילו עם LOS (line of sight) וכדומה. מאותם שיקולים, נכון יותר יהיה למקם את החיישנים, ככל האפשר משיקולים מבצעיים וארכיטקטורת המערכת הרב-ממדית, קרוב ככל האפשר לכוח שעושה שימוש במידע המופק. אל נשכח כי פלטפורמות היבשה בבסיסן הינן כוח אש נייד וממוגן המתממן בתוך שדה הקרב וככאלו, לרוב יהיה "נוח" יותר למקם את החיישנים השונים על גבי הפלטפורמה עצמה, כך שזמני סגירת מעגלי האש ומיצוי המידע ישרתו את הכוח הלוחם בפלטפורמה עצמה.

סיכום

עיבוד קדמי בפלטפורמות צבאיות יבשתיות מאפשר למצות את כלל החיישנים הניתנים ליישום קרוב למרחב הלחימה, על-מנת לאפשר רציפות תפקודית אופטימלית תוך הישענות על הספקטרום לצורך מיצוי המידע המגיע מתשתיות עיבוד המידע האחוריות לצורך היתוך בקצה המבצעי.

המגמות העולמיות – הוספת האתגר האורבני והשינוי באופי האויב לצבא טרור, ההתפתחות המעריכית של טכנולוגיות ה-4.0, חוק מור המעריכי להתפתחות חיישנים ויכולת חישוב במקביל לאתגר הספקטרי והאנרגטי למצות פוטנציאלים אלה, יחד עם ההישענות של המערכות הצבאיות המתקדמות על טכנולוגיות מסחריות זמינות והכלים הטכנולוגיים החדשים המפותחים לרכבים האוטונומיים בעולם המסחרי – תומכות מגמה מתפתחת זו, ההופכת להיות "הדבר החדש הבא" במערכות הצבאיות. לכן, נדרש יישום של ארכיטקטורת מחשוב קצה מבוזר, בהתאמות הדרושות, לצורכי התמרון וגם ביישומים אזרחיים חדשים. לצידם, נדרשים כלי AI מתקדמים בכדי להקטין למינימום (או לבטל) את העומס הקוגניטיבי שיכל היה ליתר את יכולת המיצוי של פוטנציאלים אלה, לנוכח הסטגנציה הקיימת ביכולות הקוגניטיביות של הלוחם הממוצע. כמו-כן, פיתוח של פלטפורמות מתקדמות מהסוג שהוצע כאן מהווה רבולוציה בפוטנציאל המיצוי של התמרון, אך ככל RMA הוא דורש גם התארגנות נכונה בארגון הסד"כ, בתפעול המערכות, באימונים ובהכשרות.

יישום הארכיטקטורה שהוצעה במאמר זה, הינה הזדמנות ייחודית למדינת ישראל מכיוון שהפלטפורמות היבשתיות שפותחו על-ידיה (ולא נרכשו מבחוץ) הינן בשליטה מלאה של צה"ל, בעלות ארכיטקטורה פתוחה ובעלות יכולת הוספת טכנולוגיות ומוצרים בלתי מוגבלת מכלל התעשיות הביטחוניות והאזרחיות בישראל, כיוון שהקבלן הראשי שלהן הוא משהב"ט.

מאה שנה לאחר שנוצרה רבולוציה בעניינים הצבאיים (RMA) עם הופעת הטנק הראשון, שמהותה הוא המעבר מהמלחמה האסטרטגית של מלחמת העולם הראשונה למלחמת התמרון הטקטית של מלחמת העולם השנייה, נוצרה בעידן החדש הזדמנות לרבולוציה נוספת בתמרון עצמו, צורך מחודש בפלטפורמות, שמעבר לכך שהן ממוגנות, ניידות וקטלניות, הן בעלות חיישנים מרובים, בעלות יכולת הפעלת "סוכנים" רובוטיים ואוטונומיים במרחב הלחימה הטקטי, על גבי הקרקע וברום הקרוב לקרקע, בעלות קישוריות למאגרי המידע האחוריים שב"ענן הצה"לי" ובעלות יכולות עיבוד קדמי של החיישנים עצמם ושל המידע לצורך הפקת מודיעין טקטי חדש בזמן אמת, לסגירת מעגלי אש קצרים ומהירים יותר.

רשימת מקורות

- אדמסקי, דימה. **תרבות אסטרטגית וחדשנות צבאית**. תל אביב: מערכות (2012).
- הרפז, אמיר. "תפקידיו החדשים של התמרון היבשתי". מערכות 431 (יוני 2010).
- כוכבי, אביב ואורטל, ערן. "מעשה אמ"ן" – שינוי קבוע במציאות משתנה". **בין הקטבים** 2 (2014).
- פאגלין, גיא. "מרוץ החידוש" – שינוי פרדיגמה במערכת המחקר והפיתוח הביטחונית". **בין הקטבים** 18 (2018).
- פאגלין, גיא. "מרוץ החידוש, טכנולוגיות מסחריות וצבאיות באמצעי לחימה – נקודת האיזון המתאימה". **המכללה לביטחון לאומי** (ינואר 2018).
- Gable, Nicole. "What are military and intelligence platforms?". *BAE SYSTEMS* <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-are-military-and-intelligence-platforms>
- Jebara, Jed and Sodhi, Rajan. "Edge Computing vs Cloud Computing". *IEEE computer society*. (2021) <https://www.computer.org/publications/tech-news/data-center-insider/edge-computing-vs-cloud-computing>
- Sawhney, Mohanbir. "Why Apple And Microsoft Are Moving AI To The Edge". *Forbes magazine*, 27 (Jan. 2020).
- Suri, N. et al., "Analyzing the applicability of Internet of Things to the battlefield environment". *2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICMCIS.2016.7496574.
- "Training AI at the Edge". *edgify.ai*, 21 Dec. 2018, <https://edgify.medium.com/ai-at-the-edge-as-a-way-to-redefine-the-meaning-of-privacy-52ef647fbb52>