

# מערכות אוטונומיות ביבשה: חזון ומציאות

קיום מערכים לא מאוישים בשילוב עם כלים מאוישים יגדיל את מגוון המשימות שאותן יכול הצבא לבצע, יקטין את שחיקת המשאבים ויאפשר - אם תגובש תפיסת הפעלה מתאימה - להגיע מהר יותר להכרעה

אל"ם יואב / ראש מחלקת חימוש ורק"ם • רס"ן גבי / ראש מדור במחלקת חימוש ורק"ם

## ממציאות לחזון

כל איש צבא, שהתנסה בפעילות קרבית ויש לו "חשיבה טכנולוגית", מצא את עצמו מעת לעת תוהה אם ניתן היה לבצע את המוטל עליו אחרת, לו פותח אמצעי זה או אחר.

דוגמא אחת מיני רבות היא הצבת מארב בפתחו של ואדי באיזור סבוך, שהעבירות בו קשה. מדובר במשימה שגרתית, שבה מטרת הכוח היא למנוע מעבר בוואדי של גורמים בלתי רצויים. "המערכת" המבצעת את המארב היא קבוצת חיילים, אשר אומנה וצוידה למשימה הזאת. ביצוע המשימה מורכב מכמה שלבים: תכנון, תנועה אל האיזור, ביצוע המארב, תנועה חזרה. במקרים רבים התנועה אל האיזור קשה, מורכבת מאוד ומסוכנת יותר מביצוע המארב עצמו, אך ללא השלב

המוקדם הזה לא ניתן לבצע את המשימה עצמה. באיזור המארב צריך לבחור נקודה מיטבית, להתמקם, להסתתר, ורק אז ניתן להתחיל לבצע את "המשימה האמיתית". בשלב הזה הלוחם מפעיל את אמצעי התצפית שלו (עזרים המשפרים את יכולת הראייה, אך אינם מחליפים אותה), ואם נדרש - הוא יפעיל גם את כלי הנשק שהביא עימו.

כל מי ששכב בשלג ובבוץ, מותש אחרי הליכה ארוכה, אצבעות הידיים קופאות מבעד לכפפות עד כדי ספק אם ניתן יהיה להפעיל כהלכה את הנשק, תוך שהערפל מותיר לעיתים מטרים בודדים בלבד של תצפית מועילה, מכיר את הרגשת חוסר האונים שהיא תוצאה של ההכרה כי כל המאמץ שהושקע, הסיכון, האימון, הציוד - כל אלה אינם מניבים את התמורה הרצויה: הוואדי כלל אינו חסום. וגם אם הוא נחסם, הרי זה רק לפרק זמן מוגבל ובמחיר הגבוה בהרבה מהתמורה.

אם ננתח את המשימה הזאת בראייה "טכנולוגית", נגיע

לשלוש תובנות בסיסיות:

- ניתן לבצע את המשימה הזאת תוך שילוב של כלים טכנולוגיים אוטונומיים עם מפעילים אנושיים.
- אם נשתמש כהלכה בכלים בעלי יכולות אוטונומיות, נוכל לבצע מגוון רחב של משימות, שאותן לא ניתן היה לבצע בדרך אחרת.
- בהינתן יכולות אוטונומיות מסוימות, לא היה צורך בהטלת המשימה הזאת על לוחמים בשר ודם.

כל איש צבא, שהתנסה בפעילות קרבית ויש לו "חשיבה טכנולוגית", מצא את עצמו מעת לעת תוהה אם ניתן היה לבצע את המוטל עליו אחרת, לו פותח אמצעי זה או אחר

על שלוש התובנות האלה (ועל שתיים נוספות שינוסחו בהמשך) אנו מבססים את חזון המערכות האוטונומיות ביבשה. החזון הזה נשען על חמישה עקרונות:

- **עקרון השילוב** - יכולות ומערכות אוטונומיות יופעלו תמיד בשילוב עם מערכות מאוישות.
- **עקרון ההגדלה** - שימוש במערכות אוטונומיות יגדיל את מגוון המשימות והיכולות של צבא היבשה.
- **עקרון השינוי** - כניסתן של מערכות ושל יכולות אוטונומיות תשנה את האופן שבו נבנה ומופעל הכוח בכלל וביבשה בפרט.
- **עקרון הקיום** - המערכים האוטונומיים יהיו בצבא בכלל וביבשה בפרט.
- **עקרון הכדאיות** - השימוש ביכולות האוטונומיות יהיה כדאי מבחינה כלכלית. במאמר הזה לא נעסוק בעקרון הכדאיות, ורק נסתפק בקביעה כי מדובר בהנחיה ובאקסיומה, מעין תנאי הכרחי. אפשר שבעתיד נראה מכוח קיום התנאי הזה בלבד את מימושם של יתר העקרונות. נחזור לדוגמא שבה פתחנו כדי להמחיש את העקרונות ולמעשה את החזון כולו: ניתן לבצע את משימת המארב

## נהיגה מול הטסה

במילון המונחים של עולם כלי-הטיס הבלתי מאוישים נמצאים זה שנים מושגים כמו "שליטה מרחוק" ו"אוטונומיה". דורות רבים של מזל"טים ושל מל"טים הנשלטים מרחוק או אוטונומיים משתתפים בפעילות מבצעית שגרתית ובמבצעים נועזים. יתר על כן, המונח

### חזון לעתיד הלא רחוק: מטוסי קרב הפצצה אוטונומיים



"מטוס קרב ללא טייס" חדל להיות משוך למדע הבדיוני וחדר לתודעת העולם.

על הקרקע הדברים הם קצת שונים. רק בשנים האחרונות התבגרה היכולת הטכנולוגית לשלוט ולהפעיל מרחוק כלים והגיעה לבשלות משכנעת ברוב מרכיביה (בקרה, תצוגה, שליטה, תקשורת). נותרו עדיין מספר תחומים "אפורים", שחייבים תשומת לב, כגון שידור וידיאו לאחור שלא בקו ראייה, התמודדות עם מקורות אנרגיה והתמודדות עם מכשולים.

כלים יבשתיים אוטונומיים הם עדיין בגדר יעד לא מושג. קונצרנים ענקיים, גופי מחקר ופיתוח ביטחוניים וכן אזרחיים מרובי משאבים חושפים בשנים האחרונות – אם כי בהסננות רבה – מדגימים טכנולוגיים של פלטפורמות יבשתיות בעלות מידה זו אחרת של יכולות אוטונומיות. הפלטפורמה המובילה היום בעולם (לא מבצעית) היא DEMO III של ARL (Army Research Laboratory), והיא מסוגלת לנועה במהירות של כ-30 קמ"ש תוך ניווט עצמי והימנעות ממכשולים בזמן אמת. פלטפורמה נוספת, URBI, המפותחת במימון סוכנות המחקר והפיתוח האמריקנית (DARPA), היא זחלילית זעירה (30 ק"ג) בעלת יכולות תנועה אוטונומית, בייחוד בשטח אורבני: ביכולתה לטפס במדרגות ולעבור מכשולים.

אין ספק שהתחום האווירי מוביל בפער גדול הן בתחום האוטונומי והן בתחום השליטה מרחוק. פער מובהק זה

על-ידי שימוש במערכת חישנים, המשלבת גילוי תנועה בכל תנאי מזג אוויר עם כינון והפעלת אש. נשמור את המפעיל האנושי ("הלוחם הטכנולוגי")<sup>2</sup> למשימה של הגדרת התנאים לפתיחה באש ונאפשר לו להתערב ב"שיקולי המערכת" בכל עת. מובן שאין הלוחם הטכנולוגי או המפעיל האנושי חייבים להיות צמודים למערכת כדי לבקר את פעילותה. זהו עקרון השילוב: ניתן לממש את רוב<sup>3</sup> היכולת הזאת כבר היום ללא קושי מיוחד.

באשר לעקרון ההגדלה, ניתן להציג מספר דוגמאות, אך נסתפק בכך שנציין כי באמצעות פחות מחצי ממספר האנשים, הדרוש למיקום מארב יחיד, ניתן יהיה לבצע מספר גדול של משימות דומות בתא שטח יחיד או בכמה תאי שטח. עקרון השינוי הוא המורכב ביותר להמחשה ברמה הזאת, מאחר שמדובר בשינוי משמעותי של התפקידים ה"קלאסיים", ולא רק ביבשה.

ישתנו הדרישות מחיל המודיעין, שכן את המודיעין הדרוש לביצוע המשימה יאסוף הכוח בעצמו; חיל האוויר לא יאלץ לעסוק במשימות המורכבות של סיוע קרוב לכוחות היבשה וכו'. לעניין הדוגמה שלנו, ניתן לתאר את הנחת המארב בפתח הוואדי כסוג של הימור (מהי ההסתברות שכוח האויב יגיע דווקא בעת ובמקום שבו ממוקם המארב, ומהו הסיכוי שנגלה ונמנע זאת, אם האירוע הנדיר הזה אכן יתרחש). ניתן לגשת לבעיה המבצעית הזאת מכיוון שונה – למשל, נתמודד עם גילוי החודרים עמוק בשטחם ונתכנן תגובה שונה.

את שני העקרונות האחרונים לא נמחיש במאמר הזה. החזון הוא שתהיה חלוקת תפקידים ברורה: האדם יקבל את החלטות, ואילו הפעלת המערכות תוטל על כלים אוטונומיים.

החזון הזה מתייחס ליבשה באופן מפורש משני טעמים עיקריים: ראשית, במערכות טסות כבר נעשתה פריצת הדרך. במערכות האלה תקפים כל חמשת העקרונות שהוזכרו לעיל, והקצב שבו הן נכנסות לשירות מבצעי תלוי במגוון גורמים, שלא נידרש להם עתה.

באשר לטעם השני: עדיין קיים פער טכנולוגי בסיסי, המונע יישום נרחב של החזון. פער זה מיוחד ליבשה, שכן באוויר (ובחלל) ומידה רבה גם בים הוא למעשה פתור. מדובר ביכולת הבסיסית לנוע באופן אוטונומי לחלוטין מנקודה לנקודה. קושי טכנולוגי זה מעכב את יישום החזון הזה ביבשה בדיוק כמו שהפתרון ל"מטלה הטכנולוגית" הזאת הביא להזנקת המודעות לנושא במערך הטס והשט.

במבט ראשון זה נראה מוזר כיצד למטלה, הנתפסת יוקרתית ומורכבת ביותר – הטסת מערכת מנקודה לנקודה – נמצא פתרון טכנולוגי מלא, ואילו למטלה הנתפסת נמוכה מאוד בסולם היוקרה הצבאי – לנהוג רכב שטח ממקום למקום – אין פתרון טכנולוגי. הפרק הבא מוקדש להשוואה בין שתי המטלות האלה.

## טבלה 1

רכב קרקעי		כלי טיס בלתי מאויש	
פעולות	שלבי המשימה	פעולות	שלבי המשימה
	אין הקבלה		המראה
	נסיעה אל היעד	ניווט - התמצאות - גילוי מכשולים	שיוט אל היעד וממנו
מטעד ייעודי	ביצוע המשימה ביעד	מטעד ייעודי	ביצוע המשימה ביעד
	אין הקבלה		נחיתה

סביבת העבודה האופיינית של כלי קרקעי היא בתא שטח מרובה מכשולים מוצקים בטווח קרוב. נגדיר כמקרה חריג משימה באיזור שטוח, רחב ממדים ונטול מכשולים. לא נדון בעבודה הזאת בהיבטים הקשורים למשימות חריגות.

טבלה 2 משווה בין מספר פרמטרים מרכזיים, האופייניים לשלב השיוט/נסיעה במסגרת משימה המבוצעת בסביבה אופיינית בהתייחס לשני סוגי הפלטפורמות. מטבלה 2 אנו למדים שעל הפלטפורמה הקרקעית להתמודד עם צפיפות מכשולים גבוהה, עם תמרונים רבים ליחידת שטח ועם קצב שינויים גבוה בסביבת התנועה.

נבחן את הבעיה מנקודת מבט נוספת: נגדיר את תא השטח האופייני לפלטפורמה (אווירית או קרקעית) כמרחב מורכב משטחים עבירים (מרחב חופשי), משטחים בלתי עבירים (מכשולים) ומהפלטפורמה עצמה, האמורה לנוע מנקודה A לנקודה B ולהימצא כל הזמן במרחב החופשי (ראו שרטוט 1).

כמו כן נקבע כי המצב הרצוי עבור הפלטפורמה הוא הימצאותה כל הזמן בתוך המרחב החופשי. אם הפלטפורמה נמצאת בשטח בלתי עביר, משמעות הדבר התנגשות במכשול וכישלון בביצוע המשימה (כישלון נקודתי או גלובלי). משרטוט 1 נובע, בהנחה שמסלול התנועה הוא בעצם פרוזדור תנועה, שאוסף מסלולי התנועה הפוטנציאליים שווה וזהה לכלל המרחב החופשי.

על בסיס הפרמטרים שבטבלה מספר 2 וההגדרות הנ"ל מסיקים שלפלטפורמה קרקעית סיכוי סטטיסטי קטן יותר להימצא בתוך המרחב החופשי, בהשוואה לפלטפורמה אווירית. לכן, על מנת להגדיל סיכוי זה עד כדי הימצאות

מעסיק רבות את קהילת המחקר והפיתוח של התחום היבשתית. ננסה בפרק הזה לנתח ולהבין את הסיבות לפערים האלה, להדגיש את השוני בין שני העולמות ואולי לגבש תובנות אשר יסייעו לכלים היבשתיים האוטונומיים "להמריא".

לצורך הדיון נגדיר את המונח מערכת בשני אופנים:

- פלטפורמה נשלטת מרחוק + מפעיל שולט.
- פלטפורמה אוטונומית + מפעיל משגיח.

על-פי ההגדרות האלה המערכת היא יחידה סגורה בעלת משימות ותפקידים לביצוע.

הניתוח תקף הן להפעלת פלטפורמה בשליטה מרחוק והן להפעלה אוטונומית, היות והוא יבוצע מנקודת המבט של מטלות שעל המערכת לבצע. במקרה של שליטה מרחוק, יבוצעו המטלות האלה על-ידי המפעיל, ובמקרה של הפעלה אוטונומית, יישאו מערכות הבינה ברוב הנטל.

סכימת בלוקים עקרונית של מערכת אוטונומית מוצגת בשרטוט 2. כל בלוק בסכימה מטופל על ידי טכנולוגיות שונות. טכנולוגיות אלו, במהותן, זהות עבור פלטפורמות אוויריות וקרקעיות, אך אופן יישומן ורמת בשלותן שונה בשני המקרים.

בטבלה 1 מופיעים השלבים העיקריים של

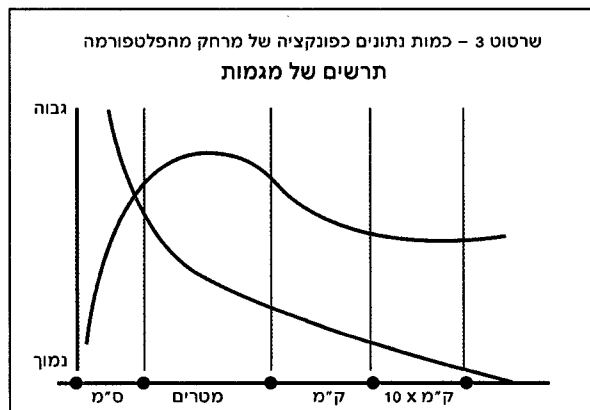
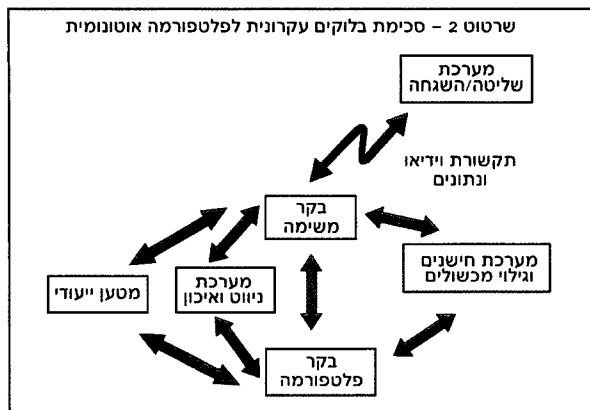
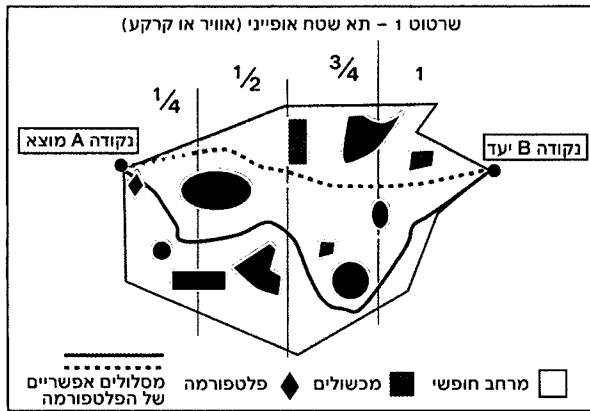
משימה סטנדרטית של כלי-טיס לא מאויש ושל רכב קרקעי. תהליך ההשוואה בין הפלטפורמה האווירית לזו היבשתית יתבסס על הטבלה הזאת. הפער העיקרי בין הפלטפורמות הוא בתחום התנועה, ולכן נתמקד בשלב השיוט, שבו ההקבלה בין שתיהן היא מרבית. נוסף על כך נציג פירוט של הפעולות האופייניות המשותפות שעל הפלטפורמות לבצע באותו שלב.

סביבת העבודה הסטנדרטית של שני סוגי הפלטפורמות שונה בתכלית, אולם הדרישות דומות: לבצע את המשימה על-פי המתוכנן, תוך עמידה בכל הפרמטרים של ההצלחה שנקבעו, באופן יעיל ובטוח לסביבה ולכלי עצמו.

משימה אופיינית של כלי-טיס לא מאויש היא לטוס מעל תא שטח (פתוח או עירוני). נגדיר כמשימה חריגה טיסה בגובה נמוך בתוך תא שטח אורבני או מעל שטח הררי תוך הימנעות ממכשולים מוצקים.

## טבלה 2

הערות	רכב קרקעי	כלי טיס בלתי מאויש	מרחב התנועה
המשמעות של הממד השלישי ביבשה שונה ממשמעותו באוויר	זר-ממדי	תלת-ממדי	1
	נייח	תנועה/טיסה	2
פלטפורמה אווירית: כ-250 קמ"ש רכב קרקעי: כ-30 קמ"ש	נמוכה	גבוהה	3
פלטפורמה אווירית: מאות/אלפי ק"מ רכב קרקעי: ק"מ בודדים	קטן	גדול	4
פלטפורמה אווירית: מאות/אלפי ק"מ רכב קרקעי: ק"מ בודדים	קטן	גדול	5
לא נדון בסביבות חריגות	גבוהה	נמוכה	6
	גבוה	נמוך	7
	קטן	גדול	8
	גבוה	נמוך	9
על הקרקע קיימות הפרעות תקשורת רבות	גבוה	נמוך	10
	גדול	קטן	11



וצריך להכניס יכולות אוטונומיות למערכה ביבשה ולעסוק בהבנה ובמימוש המתחייבים מ"עקרון השינוי". בין אם נעסוק בכך ב"כוח מלא" ובין אם נתקדם עקב בצד אגודל, המהפכה הזאת תתרחש, ולו בגלל העיקרון החמישי, שיביא אותנו לאמץ פתרונות על בסיס חוסר הברירה, הנובע מניהול משק בתנאי מחסור. מאחר שהעיסוק הזה נמצא בחזית המחקר, והתקציבים המושקעים בתחום בעולם גדלים משנה לשנה, יש עוד מניע חשוב לעיסוק במערכות אוטונומיות: ניצול היתרון היחסי שלנו (כפי שהיה בעולם המזל"טים) בעיקר ביכולת להגדיר ועדים טכנולוגיים המחברים למציאות מבצעית ולהוציא

מוחלטת בתוך המרחב החופשי, על פלטפורמה קרקעית אוטונומית להשקיע מאמץ גדול בהרבה - יחסית לכלי אווירי - בבחירת ציר התנועה מול האילוצים.

טכנולוגיות החישה, גילוי המכשולים, הניווט והתקשורת (במיוחד Now Line of Sight - NLOS) בשטח קרקעי הרבה יותר מורכבות ותובעניות מבחינת האלגוריתמיקה, משאבי החישוב והעיבוד (שרטוט 2). מכאן שקצב ההבשלה איטי יותר, ומסובך יותר להעמיד מערכת בעלת ביצועים מספקים. נתבונן בסביבת עבודה אופיינת של מערכת קרקעית לפי ההגדרה שקבענו קודם לכן בהסתמך על שרטוט 1. נניח שהמערכת הקרקעית יוצאת מנקודה A, ולמערכת הניווט שלה הזנוגן שלוש נקודות ביניים (Way Points) ברבע, בחצי ובשלושה רבעים מהדרך יחסית לנקודת המוצא.

תחילה על הפלטפורמה לעבור את הרבע הראשון של תא השטח, ולכן כל מאמציה בתחום של גילוי המכשולים ושל הניווט ירוכזו על מנת להגיע בשלום לנקודת הביניים הראשונה על קו הרבע. בהנחה שמערכות החישה והניווט של הפלטפורמה מפותחות במידה מספקת, תינתן תשומת לב מסוימת גם לרבע השני של תא השטח על מנת לבצע תכנון ראשוני של "הצעד הבא". חוץ מנקודות הציון הידועות מראש, סביר להניח שהפלטפורמה לא תצפה מעבר לקו החצי.

מכאן נסיק שמאמצי המערכת הקרקעית (כמות הנתונים המעובדים ומשאבי המערכת), המושקעים לצורך ניווט, גבוהים בשטח הקרוב לפלטפורמה וקטנים יותר, בהתאמה, עבור שטחים מרוחקים יותר.

אם כך, ניתן לערוך גרף איכותי של כמות הנתונים המושקעים על-ידי מערכת קרקעית כפונקציה של המרחק (שרטוט 3).

נערוך ניתוח דומה גם עבור מערכת אווירית לפי הפרמטרים שבטבלה 2. נניח גם כאן ידיעתן מראש של נקודות הביניים וחלוקה דומה של תא השטח לרבעים. במקרה של מערכת אווירית המצב קצת שונה. מצד אחד, היות וצפיפות המכשולים קטנה, ניווט ברבע הראשון של תא השטח אינו מהווה בעיה "קיומית". מצד אחר, היות וכלי אווירי נמצא תמיד בתנועה, וממד הזמן הוא קריטי ביותר, אין באפשרותו "לעצור לחשוב". עוד בהיותה ברבע הראשון, על הפלטפורמה להשקיע מאמצים לגילוי מכשולים ולקביעת נתיב ניווט ברבע השני, ולכך מושקעים מרב המשאבים. העיסוק ברבע השלישי של תא השטח קטן יותר וכך גם ברבע האחרון.

## מחזון למציאות

ניתן להתקדם כברת דרך משמעותית ליישום של חזון המערכות האוטונומיות ביבשה גם בלי לפתור את מטלת התנועה. למעשה, אין החזון תלוי ביכולת ספציפית. צברנו עד היום נכסים טכנולוגיים רבים עד כי אין ספק שאפשר

ליישומים טקטיים ומבצעיים חזקה יותר.

## העיצוב הביולוגי

מחקרים רבים מתקיימים כיום – בעיקר באקדמיה אך גם בתעשייה – בתחום של עיצוב פלטפורמות רובוטיות בהשראת בעלי-חיים. הרעיון העומד מאחורי השיטה הזאת נטוע עמוק בחצרה של האבולוציה. הטבע עיצב את בעלי-החיים השונים בצורה מיטבית בהתאם לתביעות ההישרדות: עבירות, ניידות, זריזות, יחס מהירות/גודל אופטימלי, ממשק עם הסביבה בצורה המוצלחת ביותר. הרעיון הוא לראות כיצד ניתן להעתיק רעיונות מוכחים מהטבע וליישם באופן הנדסי. יתרונותיו העיקריים של העיצוב הביולוגי:

- 1. עבירות גבוהה.** עיצובים דמויי חרקים – להתגברות על משטחים משובשים ועל מכשולים; עיצוב בהשראת צרצרים – להשגת יכולת זינוק; עיצוב דמוי נחש – לכניסה לחללים קטנים ולא מוגדרים.
- 2. יעילות אנרגטית** – על-ידי העברת כוח יותר יעילה ושימוש בטכנולוגיה של שרירים מלאכותיים ניתן יהיה, כנראה, לשפר את הנצילות האנרגטית של המערכת (זה קריטי ברובוטים קטנים). עיקר העיסוק בתחום הזה נמצא באקדמיה, אך קיימות כמה חברות מסחריות, העוסקות בייצור שרירים מלאכותיים וקיימים לרובוטים עבור הוראה ומחקר.
- 3. חשאיות.** באמצעות הסוואה והתמזגות עם הסביבה ועם הרקע ניתן יהיה לעצב מערכת ששרידותה בפני גילוי גבוהה יותר.
- 4. נחיל רובוטים.** עיקר הרעיון הוא לייצר כמות גדולה מאוד של רובוטים קטנים זהים בעלי פונקציונליות מוגבלת, היכולים להתחבר זה לזה באופן אוטונומי וליצור יחדיו מערכת גדולה יותר, היכולה לבצע את המשימה. לרובוטים אין "מוח" מרכזי, אלא סך כל הרובוטים יוצרים מערכת בקרה קולקטיבית לרובוט הגדול שהם מהווים. בתחום הזה מתקיים בעולם מחקר ענף הן בהיבטים המכניים (עיצוב, ממשקי חיבור בין יחידות, צורת הנעה ועוד) והן בהיבטי התוכנה השונים (תקשורת, אינטליגנציה קולקטיבית, תפיסת הפעלה ועוד). לתפיסה הזאת יש כמה יתרונות בולטים: היא מאפשרת לבצע מגוון של משימות על-ידי שימוש בפלטפורמה אחידה, היא מאפשרת לתפוס תא שטח, והיא מקנה עבירות, יתירות וגמישות בפתרון בעיות על-ידי ניצול הממד של שינוי הצורה.

## מערכות אוטונומיות יבשתיות שנמצאות בפיתוח SOLEM

זוהי פלטפורמה נשלטת מרחוק של חברת Foster Miller, שנבנתה לאיסוף מודיעין בלחימה במנהרות ובמערכות ביוב.

אותם אל הפועל מהר יותר מאחרים. מי שישכיל לעשות כן, יהיה הראשון שיחולל מהפכה בתפיסת הפעלת הכוח בכלל וביבשה בפרט וייצור יכולת שהיא גם נכס כלכלי מהמדרגה הראשונה.

## פלטפורמות רובוטיות יבשתיות זעירות - מגמות עיקריות

במסגרת העיסוק הנרחב בעולם בפלטפורמות יבשתיות נשלטות מרחוק ואוטונומיות שמור מקום מכובד לפלטפורמות הקטנות, הנישאות על-ידי מפעיל. הפלטפורמות האלה אמורות לתת מענה לאתגר, המשלב בין ממדים פיזיים קטנים (משקל, מידות), לבין ביצועיים

### ציור של מטוסים ממריאים אנכית לא מאוישים (UAV) במשימת סימון מטרה בשדה הקרב באמצעות ATL (Airborn Tactical Laser)



משכנעים (עבירות, אמינות). אחד ממבחי ההוכחה השכיחים והקשים ביותר הניצבים בפני הפלטפורמות הקטנות היבשתיות הינו התמודדות עם הסביבה, קרי עבירות. נביא בהמשך סקירה עדכנית של מספר פלטפורמות וכלים זעירים על מנת להמחיש את תשומת הלב הרבה שניתנת לתחום הזה בעולם. קיימות מספר תפיסות בסיסיות ומגמות כאשר ניגשים לפתח פלטפורמה רובוטית זעירה. התפיסות והמגמות השונות הולידו עיצובים שונים למטרות מגוונות.

## העיצוב הקונונציונלי

עיצוב קונונציונלי משמעו פלטפורמה בעלת מערכת נסיעה זחלית או גלגלית, שבה מושם דגש על מיצוי מקסימלי של עבירות באמצעות אופטימיזציה של מערכת הזחלים, התאמת קוטר הגלגלים ושיפורים מכניים, הנועדים להשיג ביצועים מקסימליים.

כל המערכות שנתמקד בהן בעבודה הנוכחית הן בעלות עיצוב קונונציונלי, היות והמערכות האלה בשלות יותר, וזיקתן

בחישנים שונים.

- מקור האנרגיה מופרד לשתי תת-מערכות – אחת לצורכי תנועה ואחת לצורכי המערכות האלקטרוניות.

## URBIE

URBIE הוא רובוט סיור עירוני, המבוסס על פלטפורמה בסיסית בשם Packbot. הפרויקט ממומן ע"י DARPA, המתאם הראשי בפרויקט הוא JPL, ויצרנית הפלטפורמה היא חברת iRobot (יצרנית ה-Packbot). גם במקרה זה קיימים מספר דורות עם רמות אוטונומיות ויכולות אוטומטיביות שונות. הפלטפורמה הבסיסית השתתפה אף היא בפעולות החילוץ באסון התאומים בארה"ב. פלטפורמה זו היא, כנראה, הרובוט המתקדם ביותר במשפחת הכלים הזעירים, והיא היחידה בעלת יכולות אוטונומיות משמעותיות.

מאפייניה העיקריים:

- משקל בסיסי ללא מודולים (כולל מעבד וחליפת חישנים בסיסית): כ-20 ק"ג.
- ממדים: אורך – 87 ס"מ, רוחב – 50 ס"מ, גובה – 20 ס"מ כשהזרועות פרוסות קדימה.
- עמידה בזעזועים של נפילה מגובה של 3 מטרים.
- מהירות: 2.2 מטרים בשנייה.
- מעבד ראשי: Pentium II 700 Mhz.
- ניווט: מבוסס אנקודרים, DGPS, ג'ירו תלת-צירי ומדי נטייה.
- חישנים: מצלמות סטריאוסקופיות וסורק לייזר קווי לגילוי מכשולים ומיפוי מרחבי של סביבת העבודה (חלל פנימי של בניין או של חדר) ומצלמה אומנית (360 מעלות) לצורך התמצאות וחקירה.
- זמן פעולה: כשלוש שעות.
- יכולת טיפוס משופרת על מדרגות: הרובוט מסוגל לזהות את תחילתן ואת סופו של גרם המדרגות וכן לשמור על תנועה באמצע המדרגות ללא סחיפה או סטייה.

## הערות

- למערכת אוטונומית יש יכולת – גם אם מוגבלת ובסיסית מאוד – "לקבל החלטות". לעומתה מערכת אוטומטית תגיב תמיד באותה תגובה לאותו גירוי.
- סוגיה נכבדה, שלא תידון במאמר הזה, היא זהותו של "הלוחם הטכנולוגי", אופן הכשרתו וההשפעה שתהיה לו על מבנה הצבא, על עקרונות יסוד כגון דוגמה אישית וכן על עצם הגדרת המושג "לוחם קרבי". לעניין הזה נדרש בהרחבה ראש מפא"ת הקודם, אלוף (מיל') יצחק בן ישראל.
- הקושי העיקרי בפני הגשמת החזון ביבשה הוא פתרון לבעיית התנועה אל היעד. על כך ירחב הדיבור בהמשך.



פלטפורמה "סולם" של חברת "פוסטר מילר"

קיימים כמה דורות (דור ראשון נמסר ב-1999 לניסויים בצבא ארה"ב, ודור שני הושלם ב-2000). הדורות המאוחרים יותר כוללים שיפורים ותוספות בהתאם ללקחים שהופקו מהניסויים בדור הראשון. הפלטפורמה הזאת השתתפה בחיפושים אחר ניצולים במגדלי התאומים בניו-יורק לאחר התמוטטותם.

הפלטפורמה שוקלת כ-36 ק"ג, נישאת אדם, עמידה במים ובעלת יכולת תפקוד מלא גם כשהיא הפוכה על גבה. מאפיינים נוספים:

- ממדים: אורך – 51 ס"מ, רוחב – 38 ס"מ, גובה – 20 ס"מ.
- עבירות: יכולה לעבור מכשול בגובה של 20 ס"מ.
- זמן פעולה: כשעתיים בטווח של 200 מטר.
- מהירות: 0.5 מטרים בשנייה.
- טווח שליטה: עד 500 מטר בקו ראייה.
- מודולים ייעודיים: ניתן להרכיב על הפלטפורמה מספר מודולים ייעודיים, כגון מצלמות, פנסים, זרועות רובוטיות וכו'.

## URBOT

מערכת SPAWAR System Center מיועדת לבצע משימות דוגמת אלה שמבצע ה-SOLEM. פלטפורמה זו מבוססת על התצורה של ה-SOLEM, אך כוללת כמה שיפורים ותוספות, כגון הארכת השלדה על מנת להקל על טיפוס במדרגות. מאפיינים עיקריים:

- משקל כללי של הערכה (פלטפורמה, יחידת השליטה וסוללות זררבות): 45 ק"ג.
- ממדים: אורך – 83 ס"מ, רוחב – 38 ס"מ, גובה – 20 ס"מ.
- זמן פעולה: כשלוש שעות בטווח של 200 מטר.
- בנייה מודולרית: ניתן להחליף את חרטום הכלי, שבו מותקנים חישני הניהוג והחקירה, בחרטום מזווד

