



הרהורים על "הלוחם העתידי"

כה רבים הם הקשיים הטכנולוגיים הכרוכים בהכנסתם לשימוש של הפיתוחים שהוצגו במאמר "דמותו של החייל הרגלי במאה ה-21" ("מערכות" 387), עד כי סביר להניח שלא נראה אותם בעתיד הנראה לעין. כל תת-מערכת כשלעצמה ניתנת לשימוש, והרבה מהן כבר קיימות. הבעיה היא באינטגרציה יעילה שלהן למערכת אחת שמישה

ד"ר צבי דוידוביץ

הסוואה: בעבר היה מקובל להשתמש בצבע הסוואה אחיד או מנומר בצורה זו או אחרת – בהתאם לזירה שבה פעלו החיילים. ראוי לציין שאת צבע החאקי הנהיגו לראשונה הבריטים בהודו בתור צבע הסוואה. בבגד העתידי מבקשים לקפוץ קפיצת מדרגה, כך שהוא יהיה מורכב מסיבים היכולים לשנות צבע, גוון, בהירות ודגם (Pattern) כתגובה מיידית לתנאי הצבע, התאורה, הרקע, והתכסית המקומיים. עור זיקית שכזה יכול להיות אמצעי שלא יסולא בפז עבור החייל הרגלי, אולם כדי ליישם את הרעיון צריך לא רק בד שיכול לשנות צבע, אלא גם מערך מוטבע של מוליכים, שיהפוך את הבד (קרי הבגד) למסך תצוגה, וכן מחשב שיחשב קלט ממצלמות חיצוניות זעירות ויחליט על מראהו המשתנה של הבגד. מיותר להזכיר שיש צורך גם במקור אנרגיה וכן במערכת שליטה חכמה דיה, כך שבמקרה של תקלה כלשהי יקבל הבגד צבע ניטרלי ולא יהפוך לזוהר באפלה. הסוואה מודרנית היא לא רק הסוואה בתחום הנראה, ועל הבגד יהיה לשמש גם להסוואה מולטי-ספקטרלית: גם בתחום התת-אדום,

עמיד לבלאי, קל משקל, תואם במידותיו מגוון רחב של גדלים ושל צורות גוף, בעל עזרים מקובלים כגון כיסים, מחברים, חגורות וכד'.

תש"ח



מיגון: על הבגד להגן מפני איומים בליסטיים (תחמושת נק"ל מטווח קצר ונזקי הדף), מפני איומים תרמיים (חסיין אש לתקופה ארוכה ככל האפשר), מפני איומים כימיים (הן קטלניים, כגון חומרי עצבים, והן לא קטלניים, כגון חומרים מגרים, דבקים, חומרי קצף, חומרי החלקה) ומפני איומי קרינה (קרינת ליזר וקרינה רדיואקטיבית).

המאמר "דמותו של החייל הרגלי במאה ה-21" ("מערכות" 387) מציג מקצת מהתוכניות ומהפרויקטים הרבים האמורים לשפר את ביצועי החייל בשדה הקרב העתידי. חלק מהגישות הן מערכתיות משולבות, ואחדות מהן כוללות שלבי ביניים עם סיכון טכנולוגי נמוך, יחסית, אך המשותף לכולן הוא השאיפה להביא לקפיצת מדרגה טכנולוגית ולמכפיל כוח בלחימה בעתיד. למקרא המאמר ניתן לחשוב שהשינויים בפתח, אך למעשה ישנה עוד כברת דרך טכנולוגית ארוכה בינינו לבין המטרות שהוצבו. להלן אביא כמה דוגמאות לקשיים שבפניהם ניצבים מפתחי המערכות.

ביגוד

די להעניף מבט ברשימת הדרישות מבגד הלוחם כדי להבין את גודל הבעיה:

לבוש: הבגד צריך בראש ובראשונה לתפקד כבגד, דהיינו להיות

רופא



החייל משדה הקרב והפעלת אמצעים רובוטיים עצמאיים במקומו או פלטפורמות קרקעיות מופעלות מרחוק באמצעות חיילים הנמצאים במקום בטוח מאחור.

מקורות אנרגיה

כמעט כל אמצעי שהוזכר עד כה זקוק למקור אנרגיה. למרות השתכללותן של הסוללות אנחנו עדיין רחוקים מאוד ממקור אנרגיה קל משקל, שיוכל לספק אנרגיה רבה, אשר תאפשר תפקוד לאורך זמן בצריכה גבוהה. אחד הפתרונות המבטיחים הינו תא דלק. פיתוח תא כזה עדיין לפנינו, היות ויש להתגבר על משקלו הגבוה, ספיקתו הנמוכה, יחסית למשקלו, הצורך בדלק מיוחד ונקי מאוד ומחירים הגבוה של הרכיבים.

קסדה

מימי קדם שימשה הקסדה כמגן לראש, כהגנה מפני שמש ואבק וכאמצעי קומוניקציה. את אלומת הנוצות התקועות בקסדה או הדגלון החליף מכשיר הקשר, אך הקסדה העתידית תצטרך לענות על הרבה יותר צרכים:

- בראש ובראשונה מיגון משופר לראש, לעיניים, לפני, לעורף ולצוואר. כדי להשיג זאת יש צורך בעיצוב חדשני וארגונומי. ייתכן מאוד שהקסדה תורכב ממספר חלקים ותכסה את הראש ואת הפנים בשלמותם.
- המיגון יהיה גם בפני חומרי לחימה כימיים וביולוגיים ויכלול מערכת מובנית לסינון אוויר.
- האמצעים של היום להגנה על העיניים מונעים סנוור מקרני השמש וחדירה של אבק. אמצעי המיגון של העתיד יצטרך לתת הגנה גם מפני סנוור באמצעות לייזר או באמצעות מתקני סנוור אחרים.
- הקסדה תכלול אמצעי תצפית מובנים, שיענו על הצורך בראייה למרחקים (משקפת/טלסקופ אופטיים ואלקטרוניים) ובראייה

מערכת אוורור או מיזוג אוויר אישית לחייל. הדבר אינו מסובך לביצוע, אלא שיש לו מחיר כבד: משקל נוסף, סיבוב מבנה הבגד, צורך במקור אנרגיה ותלות ניכרת של תפקוד החייל בתקינות המערכת, היות ובמקרה של תקלה יגרום עומס החום לקריסת החייל במהירות רבה. חיסרון נוסף של מערכת

שנות ה-50



מיזוג אוויר הוא החתימה התרמית הגבוהה שלה, דבר שהוא מסוכן ביותר בשדה הקרב עתיר החישים.

משקל: גם אם נגיע לפריצות דרך בשימוש בחומרים חדישים, יש להניח שלא נוכל להתחמק לחלוטין מבעיית המשקל. משקלו של הבגד יחד עם מערכתיו השונות יצטרף למשקלו של יתר הצידוד שעל החייל לשאת, כך שבכל מקרה לא נקבל חייל רגלי קל תנועה זורז באמת. את הפתרונות לסוגיה זו מחפשים בתחומים אחרים: נושא משא אישי (פרד) מכני, הנע בצמוד לחייל ומשמש לו כנושא כלים (חסרונות: יקר, גורם לתלות בו, מגדיל את הסיכון להתגלות) או שלד חיצוני (ראו להלן). הפתרון הרדיקלי ביותר הוא הוצאת

כולל הטווח התרמי הרחוק, וגם בתחום של גלי הרדיו. למרות היותו עמוס במוליכים, אסור שהבגד יחזיר גלי מכ"ם או גלי מיקרו.

מנשא: ישנם מתכננים רבים, השואפים להכליל בבגד גם מנשאים ארגונומיים אינטגרליים. כללית, זהו רעיון טוב, אך גם במקרה הזה ישנה בעיה של התאמה אישית. אם ניתן לייצר את הבגד במגוון של גדלים ושל צורות, כך שכל אחד יוכל למצוא לבוש כמידתו, הרי שנושא המנשאים והאבזור הנישא זקוק לכוונון ולהתאמה אישיים מדויקים יותר. בניית המנשא כחלק מובנה של הבגד רק תקשה על ההתאמה הזאת. כמו כן יקשה להחליף או לתקן חלק פגום או ניזוק (חגורה, רפידה או מיכל מים) אם הוא חלק מהבגד.

עור חכם: ציינתי לעיל את הקושי הרב שבהפיכת הבגד לאמצעי הסוואה מתוחכם. הקושי הזה מוכפל, אם רוצים להוסיף לבגד תפקידים נוספים. למשל, ניתן לשלב בבגד מערכי חיווט שונים, שישמשו - בין היתר - כאנטנות. אנטנות אלה יכולות לשמש לתקשורת ולממשק עם יתר האביזרים הנישאים על-ידי החייל עצמו או עם עזרים בסביבתו (למשל אמצעי גילוי ותצפית נישאים, פזירים או מותקנים על פלטפורמות שונות).

ממשק: מאחר שהבגד הבסיסי משובץ מחשב, ומאחר שהוא חלק ממערך שלם של עוזרים ושל כלים לחייל, הרי משמעות הדבר שבהכרח חייב להיות ממשק זה או אחר בין המערכות השונות ובינן לבין החייל. זו בעיה בפני עצמה, היות וכל ממשק פיזי (חוטי חשמל או סיבים אופטיים) מצריך מחברים פיזיים. זה אומר פוטנציאל לתקלות. כל ממשק שאינו חוטי (על-קולי, גלי רדיו או אינפרא-אדום) חשוף לתקלות משלו ולאמצעי איכון ושיבוש מצד האויב.

עומסי חום: ברור שכל בגד שיענה על הצרכים הנ"ל, ואפילו על חלקם, יגרום לעומסי חום (אם נתעלם לרגע מעומסי המשקל). לכן מתבקשת



בספקטרום רחב יותר (כולל מגביר אור כוכבים וראייה תרמית). כמו כן תאפשר הקסדה לקלוט מידע מחישה, ממחשבים וממערכות שליטה ובקרה בשדה הראייה של החייל.

- הקסדה גם תכיל אמצעי תקשורת משולבי מחשוב יחד עם מקור אנרגיה עצמאי למערכות האלה.

חישה

במאמר זה כבר הוזכרו החישה לצבע, לצורה, לגוון ולתאורה אשר יאפשרו לבגד להתאים את עצמו בצורה המיטבית לסביבה ולהשיג הסוואה משופרת. הקלט הזה יכול להתקבל מכל חישה אופטי חיצוני. למעשה, החייל העתידי יהיה משופע בחישה. בקסדה יהיו חישה אופטיים בצורת מצלמות וידאו בעלות רגישות מולטי-



רמה) יקבל את המידע הרלוונטי לו בכל צורה המתאימה לו (מידע קולי או חזותי על גבי התצוגה העילית של הקסדה, מידע חזותי או מודפס על גבי מסופים ניידים). ההיגיון אומר שבתוך הקסדה ייבנה גם מכשיר לייזר, שיוכל לשמש הן כמד טווח, הן כמצייין מטרת והן כאמצעי קומוניקציה מנקודה לנקודה בקו ראייה.

התקשורת היא סוגיה בפני עצמה, היות והיא תמיד חשובה לשיבושים מכוונים או לאילוצי שטח וטכנולוגיה. רשת קשר דיגיטלית, הפועלת ב־ Spread Spectrum, ובה כל תחנה משמשת גם כמסר ליתר התחנות, תוכל לשרוד גם בשדה הקרב העתידי.

נשק

עקרונית לא השתנו כלי־נשק האישיים של החייל זה יותר מ־500 שנים. הם רק

ספקטרלית (לתצפית באור נראה, באור חלש, באור אינפ־ראדום או תרמי פסיבי). את התמונה מהמצלמות האלה ניתן יהיה להעביר לגורמים אחרים בצוות, ועל הצגים שלהם ניתן יהיה להציג מידע חזותי ממקורות רבים נוספים, כגון: מצלמות של חיילים אחרים, מצלמות המפוזרות בשטח, מידע מודיעיני בזמן אמת, מידע חזותי מאמצעי תצפית כגון מזל"טים, פלטפורמות קרקעיות וכלי־הנשק של החייל עצמו או ממערכות נשק כגון טילים נ"ט.

על הקסדה ניתן יהיה למקם גם חישה אקוסטיים לצורך האזנה (למשל, במארב) או לצורך איכון איומים (צלפים וארטילריה) בין אם בהאזנה ישירה או על־ידי שימוש במוקדי האזנה (כלומר חיילים) אחדים בשטח הפועלים ברשת כמערך לאיכון מדויק של האיום.

חישה מסוג אחר שישולבו בבגד יהיו מכוונים פנימה, אל החייל עצמו, ויוכלו למדוד ולהעריך את עומס החום הפועל עליו, את מצבו הבריאותי, את העומס הפיזי המוטל עליו ואולי גם להפעיל במידת הצורך אמצעי עזרה ראשונה באופן אוטומטי (למשל: חישה המזהה פגיעה בגפה יפעיל חוסם עורקים מתנפח, הבנוי בתוך השרוול או המכנס).

C4

כבר ציינתי לעיל את הצורך באמצעי תצפית ובחישה. אלה יידרשו הן ברמת החייל והן ברמת החוליה והצוות והן ברמות הגבוהות יותר. אחדים מהם יהיו נישאים או בנויים בתוך הבגד, בנשק או בצידוד של החייל. אחרים ניתן יהיה לפזר או להציב בשדה הקרב, וכמובן יהיו גם חישה על גבי פלטפורמות קרקעיות או מעופפות (רובוטים עצמאיים מיניאטוריים או מיקרו־מזל"טים).

איסוף המידע, ריכוזו, עיבודו ופיזורו יהיה, כנראה, ברובו אוטומטי, כך שהצרכן (החייל הבודד או המפקד בכל

קונפליקטים. כל תת-מערכת כשלעצמה ניתנת למימוש, והרבה מהן כבר קיימות. הבעיה היא באינטגרציה יעילה שלהן למערכת אחת שמישה. מערכת כזאת גם חייבת להיות בעלת תג מחיר שאינו מפחיד מדי. אחת מנקודות התורפה המרכזיות של מערכת כזאת היא הקושי לתחזקה במקרה של בלאי או של פגיעה. בשל ריבוי המערכות המשולבות קשה לבנות מערכת על מודולרית, שיהיה קל לתחזקה בדרג השדה. הדבר מעלה מאוד את מחירה של מערכת העל ומסרבל מאוד את הלוגיסטיקה. ככל שהדרישות מהמערכת גדולות יותר, כן עולה המחיר באופן חד. עליית מחיר משמעותה מספר קטן יותר של מערכות שאפשר יהיה לרכוש.

סיכום

אחרי כל ההרהורים הפסימיים האלה לא נראה לי שאנחנו צפויים לראות פריצת דרך נחשנית בדמותו של החייל הרגלי במאה ה-21. יחד עם זאת, בהחלט יהיו חידושים רבים בתחום, אך יש לצפות שיופיעו יותר כפריטים בודדים וכתת-מערכות באופן אבולוציוני ולא רבולוציוני. יש לצפות לריבוי מפרטים בצבאות השונים – בהתאם להעדפותיהם, לסדרי העדיפויות שלהם וליכולותיהם בתחום הטכנולוגי והכלכלי.

ישנן כמה אפשרויות להתמודד עם הקשיים השונים שהוצגו לעיל. למשל, ניתן לפתח מגוון של בגדים לשימושים שונים וברמות שונות של תחכום. גם לפתרון כזה יש מחיר, אך הוא מקנה גמישות רבה יותר ומאפשר בניית פתרונות מודולריים במקום מערכות מונוליות.

הערות

1. תחמושת טלסקופית היא סוג של תחמושת ללא תרמיל, אשר בה הקליע "חבוי" בתוך התחמיש, ותחמיש זה מכיל גם את הפיקה המתכלית. מדובר בתחמושת קלה וקומפקטית מאוד.



יוכלו גם לתת מידה רבה של יתירות אלה לאלה.

שלד חיצוני

בתחום הזה אנחנו כבר חורגים מתחום הביגוד ואפילו מתחום החייל הבודד. שלד חיצוני, האמור להיות מכפיל כוח (פשוטו כמשמעו) לחייל, הוא בעל משקל עצמי לא מבוטל בשל המבנה שלו ובשל הצידוד הרב שנלווה אליו: מנועים, מקור אנרגיה, מערכת בקרה ושליטה וכו'. ככל שמוסיפים למערכת כזאת

יהיו חידושים רבים בתחום
החייל הרגלי במאה ה-21,
שיופיעו יותר כפריטים
בודדים וכתת-מערכות
באופן אבולוציוני
ולא רבולוציוני

יותר רכיבים, כך עולה משקלה. ככל שהמשקל גדל, יש צורך במנועים חזקים יותר ובמקור אנרגיה גדול יותר – מה שמעלה את המשקל עוד יותר ומחייב לחזק את המבנה. חיזוק המבנה כרוך בעלייה נוספת במשקל, והנה לפנינו מעגל קסמים של ממש. זוהי דילמה ישנה בכל תכנון של פלטפורמה, והיא עולה עוד לפני שמחליטים אם לשריין ולמגן את המערכת ואם להוסיף לה מערכות עזר משלה. ונניח שבסופו של דבר עלה בידנו לפתח שלד חיצוני קומפקטי ויעיל, האם זה לא יצריך פיתוח במקביל של נגמ"ש חדש לחלוטין, שיוכל לשאת חייל שגודלו וגמישותו דומים יותר לאלה של קרנף מאשר של אדם?

סוגיית התחזוקה

לכל מערכת – פשוטה כמתקדמת – יש מחיר פיתוח, מחיר הצטיידות, מחיר תחזוקה שוטפת, מחיר תיקון נזקים (בלאי טבעי ונזקי קרב), אורך חיים, חי מדף ומחיר החלפה. כפי שהוסבר לעיל, מערכת הדרישות ממה שקרוי "החייל העתידי" היא ארוכה, מסובכת ומלאת

הולכים ומשתכללים. מן המוסקט התפתח הרובה היורה תחמושת אחידה; ממנו התפתחו כלי-ירי אוטומטיים. החידושים העיקריים בעתיד הקרוב הם כלי-נשק היורים שני סוגי תחמושת (למשל, 5.56 מ"מ ו-30 מ"מ), תחמושת טלסקופית¹ ללא תרמיל, תחמושת חכמה בקליברים הגדולים יותר וכן מגוון עזרים הבנויים בתוך הרובה עצמו: כוונת אופטית עם מחשב ירי, מד טווח ומציין מטרה לייזר, חיישנים לרוח, ללחות, לטמפרטורה, ללחץ אוויר, לסוג התחמושת ועוד. למרות כל החידושים ולמרות התכנון הארגונומי המתקדם של הכלי, למרות השימוש בחומרים חדשניים נשאר משקלו של הנשק האישי כשהיה. יש להניח שכלי-נשק אחרים יהיו הרבה יותר חכמים, כך שהאפקטיביות שלהם תגדל. מחליפו החכם (או הגאוני) של הנשק האישי נגד טנקים יאפשר לחייל להתמודד עם איומים כגון רק"ם, בונקרים, מסוקים וכו'. ב. החייל הבודד יוכל גם לנהל אש מסייעת עקיפה ממקורות שונים אל מגוון מטרות קבועות ומזדמנות ללא צורך בכלים ובהכשרה מיוחדים.

יתירות

ככל שמערכת הנשק של החייל נהיית משוכללת ומסובכת יותר, כן עולה הסבירות של כישלון עקב קלקול או היפגעות. מערכות המושתתות על מחשוב בעוצמה גבוהה וכן מגוון האמצעים התלויים באנרגיה חשמלית להפעלתם זקוקים למערכות גיבוי על מנת ליצור רזרבה תפקודית מספקת. במילים אחרות, יש צורך באמינות גבוהה של מקורות האנרגיה – אמינות שניתן להשיג באמצעות האפשרות לקשר מספר מקורות אנרגיה לגיבוי הדדי. יש להניח שהמפתחים ירצו לתת לבגד החייל תא דלק משלו, תא נפרד לנשק האישי ואחר למערכת התקשורת והמחשוב. כל מקור אנרגיה כזה יוכל – במידת הצורך – להפעיל מערכות שבמקור אין הוא קשור איתן. מערכות הקשר וכל המערכות משובצות המחשב