

# הארכיטקטורה של מלחמות המאה ה-21

המאמר סוקר ארכיטקטורות מתקדמות של מערכות ממוכנות למודיעין, לתכנון, לבקרה, לפיקוד ושליטה ולהפעלת אש



שיאהב 3, טיל בליסטי שפיתחה איראן בסיוע צפון-קוריאנה | אויביה של ישראל מבססים את תורת הלחימה שלהם על שימוש מסיבי בטילים בליסטיים וברקטות, כמטעני צד ובטרור של מתאבדים וכן על הפעלת כוחות קומנדו קטנים ומבוזרים המצוידים בטילי נ"ט ונ"מ ומפעילים אש מתוך מתחמים עירוניים

דרור בן-דוד

פרויקטור להתמודדות עם מערכות מרוכבות בחברת מטריקס איי-טי ומנכ"ל אי-טי-וי אנרג'י



## מבוא

בפברואר 2010 פורסמה עבודת מחקר מקיפה של נאט"ו על הארכיטקטורה של מערכות ממוכנות למודיעין, לתכנון, לבקרה, לפיקוד ולשליטה ולהפעלת אש. המערכות האלה מכונות משא"ב (ראשי תיבות של מודיעין, שליטה, אש, בקרה). העבודה בחנה את יעילות הארכיטקטורה של שרשרת הפיקוד בהפעלת המערכות הממוכנות האלה, את היעילות של המערכות הממוכנות עצמן, את חלוקת הסמכויות והאחריות של ממלאי התפקידים השונים ואת אפקטיביות השליטה והבקרה. את העבודה הזאת כתבו כמה צוותי חוקרים בהסתמך על מספר לא מבוטל של מקרי בוחן. העבודה נכתבה במשך יותר מחמש שנים.

ההתנסויות הצבאיות של העשור האחרון - ובכללן מלחמתה של ארה"ב בטרור העולמי, ובמיוחד בעיראק ובאפגניסטן, מלחמת לבנון השנייה ומבצע "עופרת יצוקה" - יחד עם מגמות חדשות רבות בתחומי הטכנולוגיה הן אצלנו והן אצל יריבנו מצדיקות את העיון המחודש בנושא.

שינויים גיאופוליטיים מרחיקי לכת מתרחשים במזרח התיכון: איראן מתגרענת ובמקביל בוחרת - כמו גורמים נוספים בזירה - לנקוט גישה מערכתית סבלנית שנשענת על הונאה ועל הטעיה וכן על פעולות באמצעות שליחים. איראן גם נוקטת אסטרטגיה של היעלמות במישור ההתמודדות הצבאית, חותרת לצמצם את מרחב האפשרויות של יריביה, לתקוע טריז בין האזרחים במדינות היריבות לממשלות במקום להתמודד ישירות עם אותן המדינות, עושה שימוש מסיבי באמצעים לא צבאיים, תוקפת ישירות את העורף האזרחי - בין השאר באמצעות שימוש בנשק הטרור ובלוחמת גרילה. פעילותה הנמרצת של איראן נשענת, בין היתר, על היחלשותה של ארה"ב. יש לציין שחולשתה של זו משפיעה על התנהגותן של כל המדינות במרחב.

אויביה של ישראל מבססים את תורת הלחימה שלהם על שימוש מסיבי בטילים בליסטיים וברקטות, במטעני צד ובטרור של מתאבדים וכן על הפעלת כוחות קומנדו קטנים ומבוזרים המצוידים בטילי נ"ט ונ"מ ומפעילים אש מתוך מתחמים עירוניים.

שתי מגמות טכנולוגיות מסוכנות במיוחד הן כניסתן לזירה של מערכות טילי קרקע-אוויר זעירים וניידים (טזקאן) ברמה טכנולוגית שלא הייתה מוכרת בעבר וכניסתם לזירה של טילים בליסטיים לטווח בינוני בעלי רמת דיוק רבה, יחסית, בכמויות שמאפשרות ירי של כאלף טילים מדי יום באופן רצוף במשך יותר מחודש לעבר מטרות הנמצאות בכל רחבי ישראל.

במקביל מותפתחת הטכנולוגיה האזרחית בקצב מואץ במספר רב של תחומים ובהם מזעור, זיכרונות המחשבים (והזלת מחיריהם), רוחב הפס, קצבי העברת התקשורת והתפוצה של יכולות איכון באמצעות ג"פ-פי-אס. הקטר העיקרי שמוביל בתחומים האלה הוא הסמארטפונים למיניהם. המערכות האלה מיועדות לשוק אזרחי שהיקפו נאמד במיליארדי דולרים, ומדענים רבים חוזים שההתפתחויות האקספוננציאליות האלה יביאו למהפכות חברתיות ותרבותיות שקשה לשערן - חלקן בטווח של חמש השנים הקרובות וחלקן בטווח של 20 שנה. (ראו, למשל, את המרי האזרחי בתוניסיה ובמצרים שפרץ לאחר שהמאמר נמסר לדפוס).

גם ביכולות הצבאיות של העולם המערבי חלו מהפכות, וניתן כיום להשמיד אלפי מטרות נקודתיות ביום - בכל יום - במשך ימים רבים. אלה יכולות שמעולם לא עמדו לרשות מנהיגים. טבעי הדבר שנוכח השינויים הדרמטיים האלה יש להכיר את ארכיטקטורות המשא"ב, להבין ולנסות לראות לאן רצוי שיתפתחו.

## הלכנה הראשונה: היכולת למדוד ומושגי יסוד

החידוש העיקרי בעבודה שפירסמה נאט"ו הוא ההצעה לקבוע חמש רמות איכות לארכיטקטורת המשא"ב.

● הרמה הראשונה היא מבצעים עתירי חיכוך פנימי. המאפיין העיקרי של הרמה הזאת הוא ארכיטקטורת משא"ב שבה מקצים כוחות למשימות באופן קשיח לפני הפעלת הכוח.

ברמה הזאת נפוצים מקרים של ירי בין כוחות עמיתים או הפרעות חמורות פחות של כוחות עמיתים אלה לאלה.

● הרמה השנייה היא מבצעים נטולי חיכוך פנימי. גם ברמה הזאת קיימת הקצאת כוחות ומשימות לפני הפעלת הכוח, אולם על פי ארכיטקטורת המשא"ב, המשימות מופרדות זו מזו בזמן ובמרחב - מה שמבטיח שהכוחות לא יפריעו זה לזה.

● הרמה השלישית היא מבצעים מתואמים, כלומר ארכיטקטורת המשא"ב מחייבת הקצאה מראש של כוחות ושל משימות, אולם מאפשרת לכוחות השונים לתאם ביניהם את גזרות הירי, את המשימות וכדומה, כך שהם לא יפריעו זה לזה. ברמה הזאת יש פוטנציאל לבזבז משאבים ו/או לאובדן הזדמנויות, אולם הכוחות אינם מזיקים זה לזה. הרמה הזאת מאפשרת לתאם את הפרדת הכוחות, כולל עדכון של גזרות הפעולה ושל המשימות, כמעט בזמן אמת.

● הרמה הרביעית היא שיתוף פעולה. ברמה הזאת ארכיטקטורת המשא"ב מאפשרת לכוחות השונים ולפיקוד להבין את תמונת המצב כך שהיחידות הלוחמות יכולות לפעול במשותף ולסייע זו לזו כדי להשיג מטרות משותפות. הכוחות משתפים פעולה מוקצים מראש, אולם ביכולתו של כל כוח להכיר את כל המידע שמצוי בידי הכוחות האחרים: המודיעין, תוכניות הפעולה, גזרות הפעולה והמשימות, כך שהם יכולים לשתף פעולה בהשגת משימה משותפת.

● הרמה החמישית והעליונה היא סנכרון מלא. ברמה הזאת יש בידי כל הכוחות כל המידע הרלוונטי שמאפשר להם לסייע זה לזה בהשגת משימה משותפת ללא תלות מוחלטת בקשר עם גורמי פיקוד חיצוניים לזירה. ברמה הזאת מתאפשרת פעילות מסונכרנת של הכוחות השונים: "תפירת ערכות משימה" בזמן אמיתי, גיבוש צוותי כוחות בזמן אמיתי, סיוע הדדי בזמן אמיתי, יכולת שינוי משימות לאור כוונת המפקד - וכל זה בהתאם לתמונת המצב, כלומר תמונת המודיעין, וכן בהתאם

השינויים הזה גבוה מכפי שאפשר יהיה להעבירו למוצב שליטה כלשהו. במערב העבירו כבר לפני כ-50 שנה את החיישנים מהקרקע אל המטוסים עצמם ונתנו לטייסים את הסמכות לקבל החלטות תוך כדי הקרב.

### היעילות של ארכיטקטורת המשא"ב

מבחנה הראשון של ארכיטקטורת המשא"ב הוא בשאלה אם היא נותנת מענה טוב לכוונת המפקד, דהיינו למשימות שאותן בכוונתו להשיג. מידת היעילות נקבעת לפי כמות המשאבים שיש להשקיע לשם השגת המטרה. ככל שנוזקים לפחות משאבים להשגת המטרה - כך היעילות רבה יותר. דרך נוספת למדידת היעילות היא לבחון כמה מטרות ניתן להשיג באמצעות כמות נתונה של משאבים.

הסכנה שבמדידת הארכיטקטורה בפרמטרים של יעילות בלבד היא היעדר מדד לגמישותה נוכח פגיעות מפתיעות, שינוי של המשימות, שינוי של תנאי הסביבה, איומים מפתיעים, שינוי מהותי במצב כוחותינו וכיו"ב. המונח Agility (גמישות וזריזות) הוא מדד ליכולת הארכיטקטורה להתמודד עם מצבים כאלה.

חמש רמות האיות יחד עם מדדי היעילות וה-Agility מאפשרים להשוות בין ארכיטקטורות משא"ב שונות.

ככל שארכיטקטורה נתונה מאפשרת לנו להיות קרובים יותר לסנכרון מלא, ככל שלממלאי התפקידים השונים יש תמונת מצב טובה יותר ומודעות מצבית טובה יותר, ככל שהיעילות רבה יותר - כך גדולה עדיפותה של אותה הארכיטקטורה, ובלבד שהיא גם גמישה נוכח הפתעות. הסיבה העיקרית לעיסוק הרב בארכיטקטורת המשא"ב היא העובדה שיותר ויותר משימות במערכה בכלל, ובמערכה היבשתית בפרט, מחייבות האצלת סמכויות, תקשורת רשתית והפצת מידע במשיכה, במתכונת של שיתוף מידע, ולא בשיטות המסורתיות. נוסף על כך, ההתפתחויות העצומות של היכולות הטכנולוגיות האזרחיות מאפשרות פיתוחים בכיוונים האלה.

**במצבים סטטיים, כאשר רוב המידע אינו משתנה במהלך המשימה, יש עדיפות ברורה לשליטה היררכית ממקום מרכזי**



### הלכנה השנייה: פיקוד ושליטה מרכזיים והיררכיים מול פיקוד משימתי

במצבים סטטיים, כאשר רוב המידע אינו משתנה במהלך המשימה, למעט אולי המידע על איומים, יש עדיפות ברורה לשליטה היררכית ממקום מרכזי, מכיוון ששם נמצא רוב המידע, שם ישנה היכולת לחקור היטב את המטרות, את המודיעין בכלל ואת המודיעין הזירתי בפרט, שם ישנה היכולת להפעיל אנשי מקצוע שיעשו התאמה אופטימלית בין המטרות לבין סוגי החימוש, שם נמצאים חוקרי מודיעין שלהם הכרות רבת שנים עם הזירה ועם האויב וכיו"ב.

משימה קלסית העונה להגדרה הזאת של מצב סטטי היא תקיפת מטרות גדולות ונייחות כמו שדות תעופה, מבנים או גשרים. במשימה כזאת שלב התכנון מצריך מחקר מודיעיני של המטרות, התאמת החימוש למטרות, הקצאה נכונה של היקף הכוחות ושל סוג הכוחות לכל מטרה. במשימות כאלה ברור שמרגע התכנון ועד לביצוע המשימה המטרות לא ישתנו. במצבים כאלה עדיפה ארכיטקטורת משא"ב היררכית מרכזית, וניתן להסתפק בהם במערכות תקשורת היררכיות.

במשימות של העידן הנוכחי, למשל פטרול לציד משגרי רקטות, לא ברור מתי תאותר מטרה,

לכוונת המפקד, להשתנות סביבת הפעולה ולסטטוס של כוחותינו. הרמה הזאת מאפשרת העצמה של הכוחות הלוחמים ושל כלל ממלאי התפקידים, כלומר, ניתן להעביר אליהם בזמן אמיתי את כל המידע, את כל "השכל", שנמצא במוצבי השליטה העורפיים או שניתן לתת להם גישה לכל המידע הזה. הרמה הזאת מאפשרת הן שיתוף מידע רצוף בין הכוחות לבין עצמם והן העברת מידע מהכוחות אל מוצבי השליטה והבקרה.

"תמונת המצב" היא מושג חשוב בהקשר הזה. תמונת המצב היא תצורה של כל המידע המוצג לממלאי התפקידים השונים בהקשר למשימה. תמונת המצב היא טובה כאשר כל המידע הרלוונטי בנוגע לאיומים, למטרות, לסביבת הפעולה ולמצב כוחותינו מוצג לכל ממלאי התפקידים באופן מדויק, בזמן ובאופן שרלוונטי בעבורם.

"מודעות מצבית" היא מושג המתאר את יכולתו של ממלא התפקיד לקלוט את המידע (בנוגע לאיומים, למטרות, לסביבה ולכוחותינו), לפרש אותו נכון ובזמן כך שיוכל להחליט על פעולות המועילות להשגת משימותיו, לפעול, לקלוט איך השתנתה תמונת המצב בעקבות פעולתו וחוזר חלילה. ככל שתמונת המצב משתנה מהר יותר, אי-הוודאות גדולה יותר, המצבים פחות מוכרים מהעבר, וארכיטקטורת המשא"ב צריכה לעבור משליטה מרכזית להאצלת סמכויות, הפצת המידע צריכה להישען יותר על משיכת מידע ועל שיתוף מידע תוך כדי ביצוע המשימה ופחות על הפצה בדחיפה. נוסף על כך ארכיטקטורת התקשורת בין כל הגורמים המשתתפים צריכה להיות יותר רשתית ופחות היררכית. הצדקת כל אחד מההיגדים האלה מצריכה פירוט שאי-אפשר היה להיכנס אליו במסגרת מאמר בהיקף סביר.

דוגמה קיצונית ומאוד ברורה היא קרבות אוויר שבהם משתנים במהירות רבה תמונת האיומים, תמונת המטרות הפוטנציאליות, מזג האוויר, המיקום של כל אחד ממרכיבי המבנה, מספר הטילים ואמצעי ההגנה שיש לכל אחד ממרכיבי המבנה וכיו"ב. קצב

מה יהיה טיבה, מה יהיה מזג האוויר ברגע הגילוי, מה יהיו האיומים, באיזו סביבה תתגלה המטרה (למשל שטח פתוח או בנוי) וכד'. במתארים כאלה שלב התכנון מסתכם בהקצאת הכוחות לגזרות השונות. לעומת זאת, הציוות למשימת ההשמדה עצמה עשוי להשתנות בזמן אמת. כן עשויים להשתנות בזמן אמת בחירת מערכת הנשק האופטימלית, בחירת המטוס הספציפי שיבצע את המשימה וכד'. ייתכן שבזמן אמיתי ייווצרו שיתופי פעולה בין מסוק קרב למטוס קרב או בין מטוס ללא טייס למטוס מאויש. משך החשיפה של המטרות מחייב קבלת החלטות בשטח, בזמן אמיתי - ממש כמו בקרב אוויר.

המשימות האלה מחייבות שכל הכוחות המשתתפים במשימה יוכלו לשמור על תמונת קרב משותפת באופן רצוף. במשימות האלה נדרשת יכולת סנכרון, ולכן הארכיטקטורה של מערכות התקשורת צריכה להיות רשתית - שמאפשרת לכל מרכיב בכוח להתקשר עם כל מרכיב אחר בו. בשדה הקרב המודרני צריכים גם הכוחות הלוחמים וגם מוצבי השליטה לדעת לעבור כל הזמן בין שליטה מרכזית היררכית ממושמת לפיקוד משימתי. פיקוד משימתי משמעותו שכוחות עצמאיים פועלים בשטח, ויש להם סמכויות נרחבות לקבל החלטות בזמן אמת, כולל הפעלת

אש על בסיס תמונת הקרב המקומית. חוכמת הקרב הופכת להיות היכולת "לתפור" ארכיטקטורת שליטה וכללי העסקה באופן דינמי בהתאם לשדה הקרב ולכוונת המפקד. הארכיטקטורה הזאת יכולה לנוע משליטה מרכזית היררכית לפיקוד משימתי ובחזרה.

אש על בסיס תמונת הקרב המקומית.

חוכמת הקרב הופכת להיות היכולת "לתפור" ארכיטקטורת שליטה וכללי העסקה באופן דינמי בהתאם לשדה הקרב ולכוונת המפקד. הארכיטקטורה הזאת יכולה לנוע משליטה מרכזית היררכית לפיקוד משימתי ובחזרה.

## הלבנה השלישית: הפצת מידע מול חיפוש מידע ומשיכת מידע

במלחמות העבר, כאשר השליטה הייתה מרכזית, גם הפצת המידע אל הכוחות הנלחמים - ובעצם לכלל ממלאי התפקידים במערכה - נעשתה "בדחיפה". בכל הצבאות יש מנגנונים ענקיים שתפקידם להחליט לאילו ממלאי תפקידים להפיץ איזה מידע ומתי. לדוגמה: תצלום אוויר של אזור המטרה כרוך בייזום צילום של המרחב הרלוונטי זמן רב לפני המבצע, בפענוח התצלום ובהעשרתו בשמות קוד לשפה משותפת, בהדפסת עותקים ולבסוף - בהפצה ליחידות המשתתפות במבצע. הניסיון מלמד ששרשרת ההפצה הארוכה הזאת נכשלת בדרך כלל בזמן אמיתי.

בקרבות המודרניים, כאשר קצב השינויים גדול, חייבים לאפשר לכל ממלא תפקיד למשוך את המידע הדרוש לו מתוך מאגרים שהוכנו מראש מכיוון שפעמים רבות רק הוא, הכוח שבשטח, יכול לדעת בזמן רלוונטי מהו המידע שדרוש לו. דוגמה ליישום כזה יכול להיות מנוע חיפוש אינטרנטי על שולחנו של ממלא התפקיד כך שהוא יוכל להוריד לעצמו בזמן אמיתי את הצילום האווירי שדרוש לו.

ההבדלים האלה בשיטות להפצת מידע דומים להבדל בין שידורי הטלוויזיה של הערוצים המסחריים לבין חיפוש יזום באינטרנט. די ברור היום, שאם רוצים, למשל, לתכנן טיול לחו"ל בהתרעה קצרה, מחפשים את המידע הדרוש באינטרנט ולא מחכים לתוכנית - שאולי תשודר ואולי לא תשודר - בטלוויזיה על אותו היעד. כאשר נמצאים בחו"ל ומחפשים מקום לינה בערב, בזמן אמיתי, אין ספק שעדיף שירות של חיפוש בתי מלון על בסיס מיקום באמצעות אפליקציה מתאימה בטלפון הנייד על פני חיפוש סוכן הנסיעות בארץ כדי שהוא ינסה למצוא מקום לינה ממשרדו בישראל. (בדרך כלל חיפוש המקום באמצעות סוכן הנסיעות יכשל בגלל סיבות רבות ומגוונות: הקשר לארץ יהיה משובש מסיבה זו אחרת, הסוכן לא יהיה זמין, ואם הוא יהיה זמין, הוא לא יהיה באותו הרגע במשרדו, והמידע לא יהיה בידיו וכו').

## הלבנה הרביעית: הצורך בארכיטקטורה פתוחה

היכולת לתמוך בארכיטקטורת משא"ב המאפשרת סנכרון מלא מצריכה תקשורת רשתית גמישה שההשיות בה הן מינימליות. מצד אחד נדרשת תקשורת רחבת פס אל מוצבי השליטה ומהם ומצד אחר נדרשות רשתות גמישות בין כל הכוחות לבין עצמם - רשתות שידועות להתגבר

\*לאורך המאמר משולבים "קישורים" לאינטרנט בקידוד דר-ממדי" המכונים קודקודונים. הקודקודונים האלה הם הפניות לסרטי וידיאו מאתר "יו טיוב". ניתן לקרוא אותם באמצעות כל מכשיר טלפון נייד חכם, למשל, באמצעות גוגל גוגלס בטלפונים עם תוכנת הפעלה אנדרואיד או באמצעות קורא בר-קוד דר-ממדי המתאים לסימביון בטלפונים של חברת נוקיה וכדומה.



ולעולמות התוכן המבצעיים המצריכים זיהוי והפלה.  
את הקדימון ניתן לראות גם בכתובת:  
<http://www.youtube.com/watch?v=q2bmlmPNKbM>

## הלבנה השישית: אתגרים טכנולוגיים

### 1. הרבה נגד הרבה

נראה ששדה הקרב המודרני יכיל מצבים רבים שבהם נידרש להפעיל אמצעים רבים נגד מטרות רבות ונגד איומים רבים. מטוסי יירוט מודרניים יכולים לשגר שמונה טילים ארוכי טווח עוד לפני שהם חולפים על פני המטרה. מטוסי קרב רב-משימתיים יכולים לשחרר אשכול של עד כ-20 פצצות בזמן, וכל פצצה באשכול יכולה להתביית לעבר יעד אחר. במלחמות הטילים בעתיד יהיו כנראה תרחישים רבים שבהם יופעלו עשרות טילים מיירטים נגד מאות טילים בליסטיים תוקפים. בכל המצבים האלה עשויות מערכות תומכות החלטה או מערכות אוטונומיות להיות לעוזר רב בשל יכולתן לקבל את ההחלטות האופטימליות, ותפקיד האדם בחוג יהיה רק לבקר את התהליך. בתחום ההגנה האקטיבית ברור כבר היום שזו החלופה היחידה האפשרית.



הקודקודון שמשמאל הוא קישור לסרט "מטריקס". הסרטון מציג את פריצת נחילי הרובוטים אל העיר האחרונה שאנשיה חופשיים והוא עוסק בבעיה של הרבה נגד הרבה. בתרחישים עתידיים סביר מאוד להניח שניתקל בריבוי איומים - למשל עשרות רקטות בליסטיות במטח או אפילו עשרות מל"טים תוקפים. בתרחישים כאלה צריכה ארכיטקטורת המשא"ב לתת מענה לחידת ההרבה נגד הרבה.

את הקטע ניתן לראות גם בכתובת:  
<http://www.youtube.com/watch?v=Wz7fL433D4s&feature=related>

### 2. סיכול מארב ולא רק גילוי ותגובה

המעבר להיגיון של סיכול ושל מארב מהיגיון של גילוי וסגירת מעגל לתקיפה מחייב התאמה מערכתית רחבה גם של אמצעי הלחימה עצמם וגם של ארכיטקטורת המשא"ב. זה נושא רחב שמצריך דיון מעמיק נפרד.

### 3. העצמת הלוחמים

את הלוחמים ניתן להעצים באמצעות העברת מידע זירתי ואף אסטרטגי-מדינתי לאחרון ממלאי התפקידים בזמן אמת. הטכנולוגיה של היום אף יכולה במקרים מסוימים לאפשר הזרמת מידע בזמן ביצוע המשימה מהכוחות שבשטח אל מרכזי השליטה וגם העברה רציפה של מידע ממרכזי השליטה אל הכוחות הלוחמים.

### 4. תוכן מבוסס משתמשים

ההתפתחות האקספוננציאלית של הטכנולוגיה בכלל ושל עולם הסמארטפונים בפרט יביא ככל הנראה למצב שבו ניתן יהיה להתייחס לכל פלטפורמה אווירית כאל חישן. באמצעות ארכיטקטורת תקשורת מתאימה ניתן יהיה לבנות חלקים משמעותיים מתמונת המצב על בסיס מידע שמגיע מהמטוסים עצמם. עולם התוכן הזה דומה לעולם התוכן מבוסס המשתמשים שזוכה לתנופה עצומה בשנים האחרונות.

### 5. "סייבר ספייס" - התווך של המאה ה-21?

עולם המחשבים, מערכות התקשורת והמידע שאצור בהם או עובר ביניהם הופך להיות

וכן אפשר לראות בו מערכים גדולים של כלי טיס בלתי מאוישים, שמצד אחד יכולים לטוס בצפיפות רבה ומצד אחר להגיב במקרים של כמעט התנגשות. ארכיטקטורת שליטה היררכית מתא מרוחק אינה יכולה להספיק להגיב בזמן רלוונטי, אך בה בעת ללא מידע זירתי לא ניתן לשלוט בעומס הכללי בגלל המספר הרב של הכלים. גם המציאות מלמדת שלא יהיה מנוס מארכיטקטורה משולבת שכזאת, וכבר כיום מתפתחות המערכות שנותנות את התמונה האווירית הן בכיוון של מ"מים ומרכזי בקרה קרקעיים והן לכיוון של מערכות למניעת התנגשות המבוססות על רשתות תקשורת, על מערכות לזיהוי עמית-טורף ועל היכולת למנוע התנגשויות ברמת המטוס עצמו.

את הקדימון ניתן לראות גם בכתובת:  
[www.youtube.com/watch?v=aB-AUTGqUCU](http://www.youtube.com/watch?v=aB-AUTGqUCU)



## הלבנה החמישית: המעבר מהיגיון של גילוי ותגובה להיגיון של סיכול

חלק מההתפתחויות אצל היריב מחייב מעבר מהיגיון של ניטור - גילוי - סגירת מעגל אש להיגיון של מעקב וסיכול עוד לפני שהאיום התממש. למשל, לא ניתן לסכל טרוריסט שחגור בחגורת נפץ לפי זיהוי ההתפוצצות. המעבר מהיגיון של סגירת מעגל אש להיגיון של סיכול מחייב שינויים מרחיקי לכת במרכיבי הכוח ובדרכי הפעלתו.

הקודקודון שלהלן זה מכיל הפניה לקדימון של הסרט "דו"ח מיוחד". הסרט עוסק בנושא של מניעת אירועים לפני שהם מתרחשים, ובין השאר יש בו דוגמאות לממשק מתקדם אדם-מכונה, לרובוטים היכולים לפעול בצורה מתואמת ולשתף פעולה ביניהם ואפילו להסתנכרן. הקדימון מרמז גם לשיתוף מידע בין אמצעים זירתיים לאמצעים טקטיים

## סיכום

בעידן המודרני מתנהלת מלחמה חשאית רצופה לסיכול איומים, שהרי אחרת לא ניתן לקיים ממשל יעיל, לנהל את שגרת החיים ולאפשר שגשוג וצמיחה אזרחיים.

כדי לנהל את כל המערכות האפשריות - מערכה חשאית, לא סימטרית ונמוכת עצימות; מערכה נגד ארגוני טרור וגרילה שזוכים לתמיכת מדינות ומלחמה בעצימות גבוהה המחייבת גיוס של כלל משאבי המדינה והתמודדות עם מערכות נשק מודרניות - נדרש מנעד ארכיטקטורות רחב המבוסס על יכולת מעבר דינמית וממושמת ממצב של היררכיה מוחלטת למצב של ערכות משימה מבוזרות ויכולת סנכרון.

יש צורך בהבנה עמוקה של הקצינים המנהלים את הארגונים שהמערכות הצבאיות נמצאות בפיגור עצום הן בהשוואה למערכות האזרחיות והן בהשוואה לצורך המבצעי. מחיר השאננות עלול להיות איום ונורא הן בצד שלנו והן בצד של היריבים, ובעיקר יהיו לכך משמעותיות ארוכות טווח על היכולת לייצר עתיד יציב המאפשר שגשוג של החיים האזרחיים.

אם לא נדע לבנות ולהפעיל כוח צבאי רלוונטי, למדינאים לא תהיה ברירה אלא להפעיל כוח בלתי פרופורציוני שיופנה נגד המדינות המארחות את הטרור וימנע את היכולת להגיע למציאות יציבה למשך דורות רבים.

היעדר פתרון המאפשר התמודדות ישירה עם האתגרים יחייב את המדינאים להפעיל יכולות הרס שמעולם לא נראו בעבר. אלפי הטילים שפגעו בשטח ישראל במהלך מלחמת לבנון השנייה, הרקטות שנורו על באר-שבע ועל אשקלון, תקיפת רובע הדחייה בביירות, ההרס בבית-ג'בייל וההרס המסיבי ב"עופרת יצוקה" - כל אלה הם רק דוגמאות קטנות של מה ששני הצדדים עלולים לעולל זה לזה ולפגוע בכך באפשרות ליצור מציאות אזרחית יציבה ומשגשגת.

**המאמר מבוסס בחלקו על הרצאה שנשא הכותב במסגרת מכון פישר לחקר האוויר והחלל.**



**ציור של לוויין מייט טיל בליסטי באמצעות תותח לייזר | בעידן המודרני מתנהלת מלחמה חשאית רצופה לסיכול איומים, שהרי אחרת לא ניתן לקיים ממשל יעיל, לנהל את שגרת החיים ולאפשר שגשוג וצמיחה אזרחיים**

יותר ויותר דומיננטי במרכיבים הולכים וגדלים של ההווה. העולם הזה נכנס ליותר ויותר תחומי חיים, ובמקביל הולכות וגדלות תפוצת המחשבים בכלל ותפוצת המערכות הצבאיות משובצות המחשב בפרט. התופעה הזאת מביאה לכך שסוגיית הלחימה הקיברנטית צפויה לתפוס חלק הולך וגדל מההווה הצבאית. בהחלט ייתכן שהתנוך הקיברנטי יהיה זה שעליו יתחרו מדינות הלאום במאה ה-21. כדי להפוך למעצמה בין המאה ה-15 למאה ה-20 צריכה הייתה אומה לשלוט בים. כדי להפוך למעצמה במאה ה-20 היא צריכה הייתה לשלוט באוויר. במאה ה-21 תצטרך אומה - כנראה - לשלוט בתחום הקיברנטי כדי לזכות בעמדת בכורה. התחרות בתחום הזה צפויה להיות קשה ומהירה הרבה יותר מהתחרויות שהתנהלו ביבשה, בים ואפילו באוויר ובחלל, מכיוון שרף הכניסה נמוך יותר, קצב השינויים גדול בהרבה, והתנוך הוא מגרש גלובלי שאפילו נורמות בין-לאומיות עדיין לא נקבעו לו. בדומה להתפתחויות ביבשה, בים, באוויר ובחלל - גם להתפתחות התנוך הקיברנטי יהיו משמעותיות מרחיקות לכת בנוגע לארכיטקטורות המשא"ב.

## 6. שיתוף מידע בזמן ביצוע המשימה

אם רוצים כי כל מי שרלוונטי למבצע מסוים יהיה שותף למידע, יש צורך במערכות תומכות שמאפשרות החלפת מידע ללא שהיות בין משתתפים רבים לבין עצמם ובין משתתפי המשימה למוצבי השליטה שבעורף. ארכיטקטורת המשא"ב לצרכים האלה מצריכה פיתוחים רבים. אחד הצרכים העיקריים הוא היכולת לשתף חוזי (וידיאו) באופן רשתי, בזמן אמיתי, בין מספר רב של שחקנים מסוגים שונים. אחד האתגרים הטכנולוגיים הרלוונטיים ביותר בהקשר הזה הוא פיתוח מערכת קשר רשתית שתהיה מסוגלת להעביר ללא שהיות שפע של מידע ויזואלי ממקורות רבים אל משתתפים רבים. שיתוף מידע בזמן המשימה מחייב גם שכבה אפליקטיבית ייעודית מכיוון שהיכולת להראות למשתמש רק את המידע שרלוונטי לו בארכיטקטורות כאלה הופכת להיות מורכבת ושונה מאשר במערכות המקובלות כיום.