

הסימולציה ככלי מרכזי במהפך במוכנות הכוח ובתהליכי הפיתוח

הסימולציות העתידיות ישמשו את הכוחות גם בשלב ביצוע המשימה: מערכות הסימולציה יהיו מחוברות במהלך הקרב למערכות השליטה והבקרה (שו"ב), ישאבו מהן את הנתונים הרלוונטיים, ואלה יעובדו בתוכנת סימולציה המשולבת עם תוכנת חקר ביצועים. בהתאם לניתוח הנתונים יציעו המערכות למשתמש כמה דרכי פעולה אפשריות (דפ"אות) ובהתאם למערכת שיקולים מסוימת שתוגדר מראש יבחרו בעבורו את דרך הפעולה הנבחרת (דפ"ן). נוסף על כך תתריע המערכת על החלטות שגויות של המשתמש

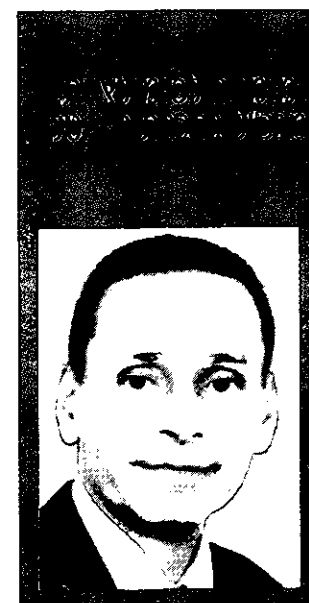
יעקב זילביגר

רקע

בשנים האחרונות ניכרות תמורות עולמיות משמעותיות בתחומים הטכנולוגיים, הגיאורפולטיים והכלכליים. התמורות האלה מכתיבות שינוי תפיסתי ומבני מקיף בכל הנוגע למבנה הצבא בכלל ולתהליך הפיתוח של מערכות אמל"ח בפרט.

מאמרים קודמים בביטאון הזה התייחסו לתמורות האלה: סא"ל שי שבתאי דן בצורך של צה"ל לעבור את המהפכה הרביעית שלו – מהפכת המידע ("לקראת מהפכה רביעית בחשיבה הצבאית של צה"ל", מערכות 392). רס"ן בועז דן בצורך לשנות את תהליך פיתוח האמל"ח ("פילוסופיית פיתוח רב-שנתי של מערכות אמל"ח", מערכות 392).

השינוי התפיסתי הזה נידון בהרחבה בשנים האחרונות בספרות הצבאית, בעיקר האמריקנית, שם הוא מכונה "שינוי מבני צבאי" (Military Transformation). עיקרו עוסק במעבר מגישה של התייחסות לאמצעי לחימה בודד (למשל: טנק, מל"ט, תומ"ת וכו') לגישה חדשה של התייחסות למערך הכולל כמה אמצעי לחימה – לא בהכרח זהים, ובדרך כלל בעלי יכולות משתנות. הסינרגיה שבאיחוד פעולת המערכות תביא לריכוז השליטה



במידע וכתוצאה מכך להגברת כוח משמעותית בתחומים כמו קטלניות, תמרון, שליטה, שרידות ועוד. השינוי המבני והמעבר לעבודה במערכים (המכונים גם "מרחב המערכות") מביאים לשימת דגש על מכלול תחומים שנקראים בספרות הצבאית C⁴ISR: Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance & Reconnaissance. ובעברית: מדובר בשיפור יכולות הפיקוד, השליטה, התקשורת, המחשבים, המודיעין, הפיקוח ואיסוף המידע. הדגש הוא לא רק על עצם היכולות הטכנולוגיות, אלא בעיקר על שיתוף המידע ועל שיתוף פעולה בין הגורמים השונים במערך לחיפויים הדדיים זה על חולשותיו של זה, לשימוש ביתרונות הנובעים מיכולות של מערך כלים הטרוגני להגברת כוח בנקודות זמן ומקום קריטיות ועוד. משרד ההגנה האמריקני הכריז שתחום ה-C⁴ISR הוא אחד מחמשת הנושאים העומדים בראש סדר העדיפויות שלו. אחד האמצעים המשמעותיים המסייעים להתמודדות עם השינויים המורכבים האלה הוא הסימולציה.

הסימולציה כאבן בניין להשגת אתגרי העתיד: ההתמודדות עם השינוי המבני

המאמר הזה יציג את הסימולציה ככלי המשמעותי ביותר שבו ייעשה שימוש במעבר לגישת השינוי המבני. כיוון שהיריעה קצרה מלפרט את כל מרכיביה ומאפייניה של

גישת השינוי המבני, אתמקד בשלושה רבדים מרכזיים מתוכה, שלהבנתי מצריכים רמת תיאום גבוהה ביניהם וכתוצאה מכך גם שימוש נרחב בסימולציה: שינוי ("המרה") של רמת מוכנות הכוח, שינוי ("המרה") של תהליכי הפיתוח ושל נוהלי הפיתוח; שימוש מסיבי בכלים טכנולוגיים קיימים (COTS - Commercial of the Shelf).

שינוי ("המרה") של רמת מוכנות הכוח (Readiness Transformation)

המציאות מחייבת מעבר ליכולת תגובה צבאית מהירה וחזקה, כלומר מעבר לרמה גבוהה של כוונות ושל מוכנות. החזון של הרשות למחקר ולפיתוח טכנולוגיות חדשות של משרד ההגנה האמריקני, DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), מתייחס ישירות לנושא הזה וטוען כי "המלחמה היא מקרה פרטי התופס חלק קטן מזמן קיום היכולות".

ההתקדמות הטכנולוגית מביאה לפיתוחן של מערכות אמל"ח מורכבות מאוד, בעלות יכולות רבות ומגוונות ורמת אוטונומיות הולכת וגדלה. התכונות האלה של המערכות מחייבות מעבר למערכות פיקוד ושליטה

מתקדמות, המצריכות כוח אדם מקצועי ומיומן, שיכול לבצע מטלות מורכבות. מדובר במטלות דוגמת שליטה מעמדת הפעלה בודדת על כמה להקות (Fleets) הטרוגניות של כלים קרקעיים ואוויריים בעלי יכולות רבות ומגוונות ברמות אוטונומיות משתנות, הפרוסים על פני שטח גדול. רק כוח סדיר יכול לרכוש את המיומנות הנדרשת להפעלתן של מערכות כה מורכבות, שכן לרשות עומד די זמן לאימונים. לרשות

כוחות המילואים, לעומת זאת, לא עומד זמן הכשרה ארוך דיו, ולכן סביר להניח שלא יוכלו להגיע לרמת המיומנות הנדרשת. כתוצאה מההתפתחות הטכנולוגית הזאת עתידים כוחות מילואים לתפקד בהיקף מצומצם בהרבה מהיקף תפקודם כיום: הם יידרשו בעיקר למשימות שלא מצריכות כוח טכנולוגי מאומן לביצוען. למקצועיות ולמיומנות של הכוח יש משמעות עצומה בצבא של העידן הטכנולוגי. עימות בין שני צבאות בעלי אמצעים דומים יוכרע ברוב המקרים לטובת הכוח שיידע למצות את האמצעים שברשותו בצורה טובה יותר. מיצוי כזה מושג באמצעות אימון מקיף, מתמיד ואינטנסיבי של כל הרמות, בכל הכלים שעומדים לרשות הכוחות ובמתארים שהם קרובים ככל שניתן למצבי אמת. אימון כזה מביא לחשיבה אופרטיבית וליכולת אלתור שהם פרי עליונות אימונית (Training Superiority) – מושג שחוזר על עצמו בספרות הרלוונטית.

הסימולציה היא הדרך היחידה המאפשרת לדמות באופן יעיל ואמין את אופיין ואת משמעות פעולתן של המערכות המורכבות לשליטה במערכים. באמצעות דימוי תרחישים ברמות קושי שונות ניתן יהיה להכשיר מפעילים חדשים של המערכת ובה בעת לשמור על רמת המקצועיות של המפעילים הקיימים. נוסף על כך ניתן יהיה להריץ תרחישים בהיקפים משתנים, החל מרמת המפעיל הבודד ועד לרמה הבין-חילית.

סימולציה ככלי לשיפור תכנון של מבצע ולשליטה במהלכו

סימולציות למבצעים צבאיים הן כיום חלק בלתי נפרד מנוהל הקרב. הדמיית המבצע באמצעות מודל – בצורה פיזית או ממוחשבת – מאפשרת לאתר כשלים, נקודות תורפה, לנתח צומתי החלטה ועוד. בעתיד הקרוב אף צפויה הסימולציה הממוחשבת להפוך למשמעותית יותר, ולא יהיה צורך לדמות מבצע צבאי באמצעות פריסה פיזית של כוחות בשטח. יתר על כן, הסימולציות ישמשו גם בשלב ביצוע המשימה: מערכות הסימולציה יהיו מחוברות במהלך הקרב למערכות השליטה והבקרה (שו"ב), ישאבו מהן את הנתונים הרלוונטיים, ואלה יעובדו בתוכנת סימולציה המשולבת עם תוכנת חקר ביצועים. בהתאם לניתוח הנתונים יציעו המערכות למשתמש כמה דרכי פעולה אפשריות (דפ"אות) ובהתאם למערכת שיקולים מסוימת שתוגדר מראש יבחרו בעבורו את דרך הפעולה הנבחרת (דפ"ן). נוסף על כך תתריע המערכת על החלטות שגויות של המשתמש.

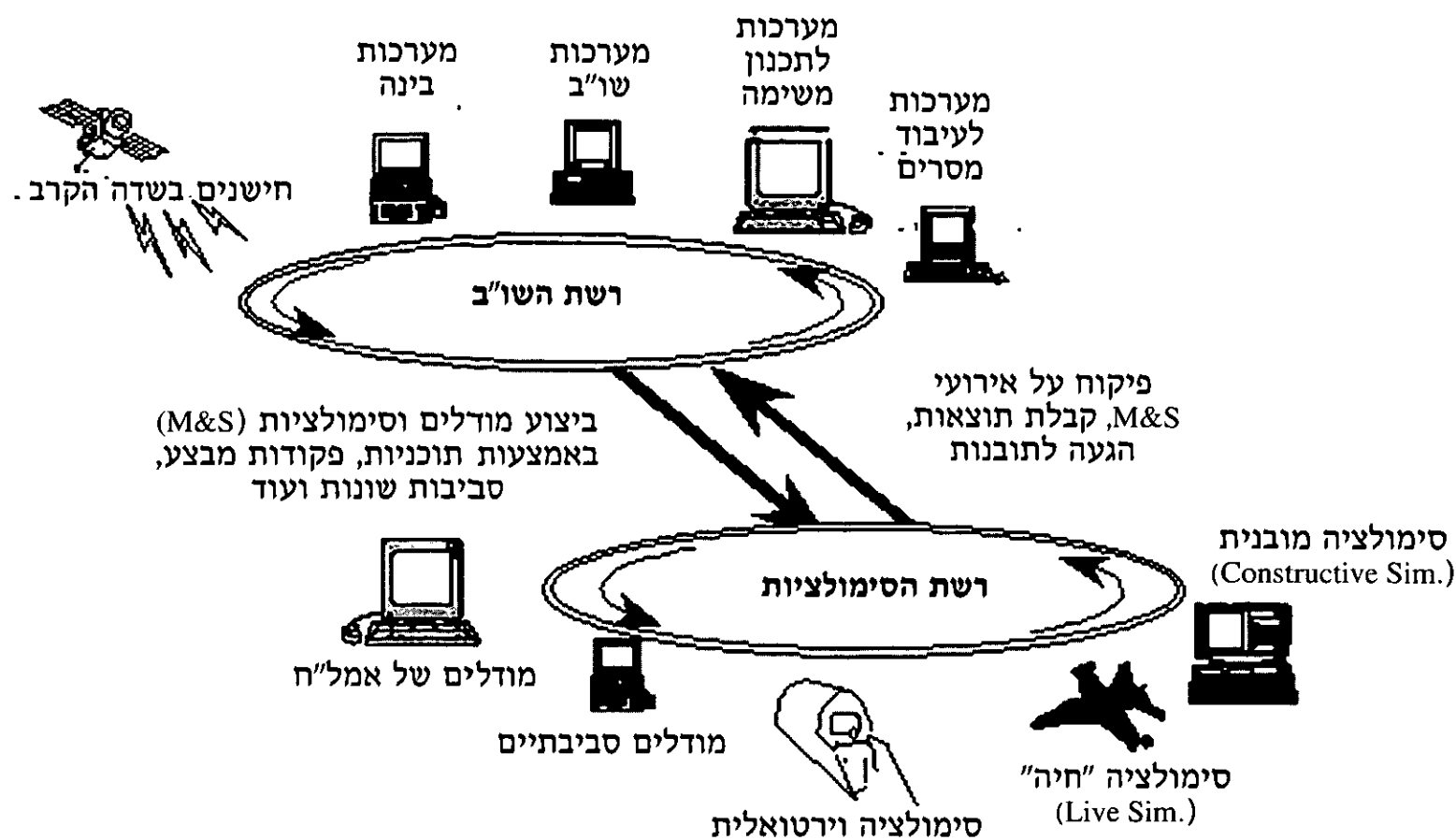
מהתיאור הזה עולה אפוא כי נוסף על תפקודה המסורתי כמערכת לתכנון משימה במהלך נוהל הקרב תתפקד המערכת החדשה גם כמערכת עזר לשליטה וכמערכת תומכת החלטה במהלך הקרב עצמו. להערכת, כאשר ייושמו המערכות האלה, לא יתקיים שום מבצע שלא "סומלץ" לפני כן בצורה מלאה ומקיפה, ולא תהיה מערכת שו"ב שלא יפעלו בה מודולים סימולטיביים.

סימולציה ככלי אימון המשולב באמל"ח

תמורה נוספת תתרחש כאשר מערכות האימון ישתמשו בפלטפורמות הכלים שאיתם ייצא הכוח הלוחם לקרב – בניגוד למצב הנוכחי, שבו רוב מערכות האימון נפרדות מהאמל"ח עצמו. האימון המבוזר (Distributed Training) יתבצע על הכלים שבהם שובצו רכיבים סימולטיביים לאימון (Embedded Training). בכך מתבצע מעבר

בשנים האחרונות ניכרות תמורות עולמיות משמעותיות בתחומים הטכנולוגיים, הגיאופוליטיים והכלכליים, המכתיבות שינוי תפיסתי ומבני מקיף בכל הנוגע למבנה הצבא בכלל ולתהליך הפיתוח של מערכות אמל"ח בפרט

תרשים 1: תפיסת ההפעלה של מערכות סימולציה מבצעית



נקראת LVC (Live-Virtual-Constructive). זוהי שיטת עבודה מאתגרת, הדורשת תמורות רבות, בעיקר בדרך הניהול של פרויקטים לפיתוח האמל"ח. בתרשים 1 ניתן לראות את תפיסת ההפעלה של הסימולציה המבצעית - שילוב של מערכות שו"ב, השולטות על אמל"ח הטרוגני, יחד עם מערכות תומכות החלטה ושדה קרב וירטואלי לתכנון (בהתאם לתרחישים מסוימים) או לאימון.

שינוי ("המרה") של תהליכי הפיתוח (Development Transformation)

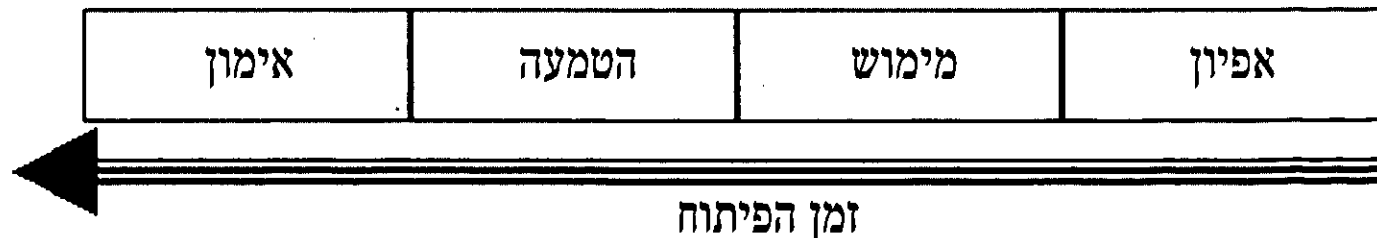
הישענות על סימולציה לכל אורך תהליך הפיתוח תביא לקיצור משמעותי של תהליכי הפיתוח של אמצעי לחימה חדשים: מצד אחד המשמעות של פיתוח מערך האמל"ח היא פיתוח הסימולציה שלו. מצד אחר הסימולציה היא חלק מובנה במערך האמל"ח עצמו.

לפלטפורמה אחת שמתפקדת הן כסימולטור והן כאמל"ח, וניתן לעבור למצב אימון בכל רגע, תוך ניצול זמן פנוי וחיסכון בניוד הכוחות לאתרי האימונים. במצב כזה יוכל טנק לדמות לצוותו תרחישים תחת רמות פיקוד שונות, במתארים שונים, במצב ניח או תוך כדי תנועה. בה בעת (אך אפשר גם בזמן אחר) יוקרן בקרון שליטה של מזל"ט תרחיש שידמה את טיסת הכלי במשימת מודיעין ואיכון עם או בלי קשר לסימולציית הטנק. בצורת עבודה כזאת מתקבלת למעשה מערכת סימולציה מבצעית. כדי לעבוד בסנכרון וביעילות מלאה תקיים מערכת הסימולציה המבצעית בין רכיביה שירותי עימות ואימות רציפים ברשתות התקשורת.

חיבור הסימולציה לכלים בשטח

היעד הסופי הוא לאפשר חיבור יישויות אמיתיות מתאמות לרשת הסימולציה. דוגמאות: מטוס בודד באוויר מבחין באמצעות מערכות המכ"ם שלו במטוסים שמקורם בתרחיש סימולטיבי ומייצר אינטראקציה איתם; מפקד רואה בתצוגת השליטה שלו כמות רבה של כוחות פרוסים בשטח, שרובם מיוצרים באמצעות סימולציה וחלקם כלים אמיתיים. הסימולציות עצמן מורכבות מרכיבים ברמות פיקוד גבוהות (המינוח השגור לסוג הזה: סימולציות קונסטרוקטיביות) ומדימויי כלים בודדים (המינוח השגור לסוג הזה: רכיבים וירטואליים). הפעילות המשולבת של הגורמים השונים בסימולציה

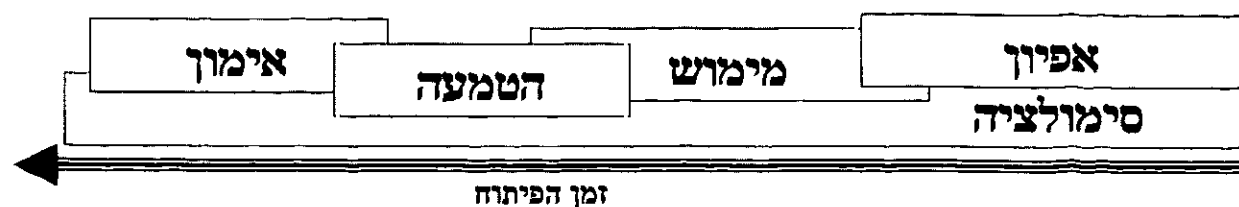
תרשים 2: מחזור הפיתוח המסורתי של אמצעי לחימה



בתרשים 2 אפשר לראות את הבעייתיות שבתהליך הישן: כל שלב אורך זמן רב, ונוסף על כך כלי הסימולציה שבהם נעשה שימוש משתנים משלב לשלב. שלב בניית ה"מאמן" מתבצע בדרך כלל בכלים שונים לגמרי מהכלים שבהם נעשה שימוש בשלבי הפיתוח הקודמים. כתוצאה מכך תהליך הפיתוח כולו אורך כמה שנים, וכשהוא

פרוסים בשטח, שרובם מיוצרים באמצעות סימולציה וחלקם כלים אמיתיים. הסימולציות עצמן מורכבות מרכיבים ברמות פיקוד גבוהות (המינוח השגור לסוג הזה: סימולציות קונסטרוקטיביות) ומדימויי כלים בודדים (המינוח השגור לסוג הזה: רכיבים וירטואליים). הפעילות המשולבת של הגורמים השונים בסימולציה

תרשים 3: מחזור הפיתוח של אמל"ח בשילוב הסימולציה



מגיע לקו הסיום, מתברר שהאמל"ח אומנם הצליח לענות על המטרות שלשמן פותח, אלא שהמציאות מסביב השתנתה: טכנולוגיות חדשות הבשילו ותפסו מקום מרכזי על במת הפיתוח, משקלם היחסי של רכיבי

האמל"ח השונים בשדה הקרב השתנה, נערכו שינויים מבניים בכוח המיועד להשתמש באמל"ח וכן שינויים רבים נוספים. המסקנה המתבקשת ברורה אך לא פשוטה ליישום: יש להניע תהליך שיביא לקיצור מחזור הפיתוח של האמל"ח באמצעות שימוש בסימולציה כגורם מרכזי לכל אורך תהליך הפיתוח. לחלופין ימומש תהליך הפיתוח באופן "מתגלגל" תוך מימוש הדרגתי וספיגת דרישות וטכנולוגיות חדשות (זהו תהליך האופייני לפיתוח מערכות שו"ב).

בתרשים 3 ניתן לראות כי תהליך הפיתוח החדש כולל כמה שינויים ושיפורים:

◆ הנדסה משולבת בתהליך.

לכל אורך התהליך, משלב לידתה של המערכת ועד להבשלתה ולהתבגרותה נעשה שימוש בעבודה אחידה ועקבית עם מערכת תשתית סימולטיבית זהה בעלת רכיבים משותפים, ש"רצה" במקביל לתהליך הפיתוח. המשמעות העיקרית הנגזרת מכך היא עבודה בסביבה דומה בכל השלבים, שמביאה להיכרות מעמיקה עם המערכת ולעקביות בשלבי הפיתוח הן

מבחינה ויזואלית (ממשקי מפעיל-סימולציה/מערכת) והן מבחינת הממשק שבשימוש מתכנת המערכת - API (Application Program Interface). כתוצאה מכך מתקצר הזמן הדרוש לביצוע שינויים, אם יידרשו (בכל השלבים ובעיקר בשלב ההטמעה); נוצרת שפה משותפת בסביבה משותפת בין כל הגורמים המעורבים בפרויקט ומתקצר זמן ההסתגלות והאימון לתפעול המערכת (בשלב האימון).

◆ **הקדמת תהליך ההטמעה.** שלב ההטמעה מתחיל עוד לפני שמסתיים תהליך המימוש. השינוי הזה מביא לתיקוף מוקדם של המערכת ומוודא התמקדות בצרכים ובבעיות בשטח. ניתן אף לזנוח ולא להשלים פיתוחם של פריטים שנדרשו אך לא נראים נדרשים בשלב ההטמעה.

◆ **מימוש חלקי ראשוני (קונספטואלי) כתנאי לאפיון טוב.** שלב המימוש מתחיל לעיתים לפני גיבוש האפיון ("מימוש תומך אפיון"). על אף הקושי התפיסתי שבדבר, מימוש מוקדם תורם למיקוד האפיון ולקיצור התהליך,

שנוטה בדרך כלל להתבדרות. דוגמה למימוש כזה קיימת במעבדות הקרב - שם מתבצעים הניסויים בעיצומו של תהליך האפיון ועיצוב הדרישות של המערכת.

שימוש באמצעים טכנולוגיים קיימים - מוצרים מהמדף

השימוש במוצרי תוכנה הקיימים על המדף COTS (Commercial Of The Shelf) הולך וגובר עם התקדמות הטכנולוגיה. למוצרים האלה יש יכולות מוכחות, ושילוב נכון ביניהם מביא למעשה ליצירת מערכת שעונה על צרכים שהוגדרו לה מראש בפרק זמן מינימלי, ללא סיכוני פיתוח ובתקורות נמוכות. המושג COTS מתייחס לא רק למוצרי תוכנה מהמדף, אלא גם למוצרי חומרה מהמדף ולשילוב ביניהם. בכנסים קבועים המת-קיימים מדי שנה במקומות רבים בעולם (למשל כנס הנקרא COTS-Based Software Systems) מוצגות הגישות החדשות שנובעות מהחידושים הטכנולוגיים, ומתפתח תחום הנדסי חדש של אפיון ושל ייצור

השימוש במוצרי תוכנה הקיימים על המדף הולך וגובר עם התקדמות הטכנולוגיה. למוצרים האלה יש יכולות מוכחות, ושילוב נכון ביניהם מביא למעשה ליצירת מערכת שעונה על צרכים שהוגדרו לה מראש בפרק זמן מינימלי, ללא סיכוני פיתוח ובתקורות נמוכות

מערכות בעידן ה-COTS.

תופעת המעבר לשימוש במוצרים מהמדף נוצרה כתוצאה משילוב של כמה מגמות:

1. נושאים ותחומים רבים שבהם עסקו מהנדסים בעבר לא מטופלים היום כלל, היות וכתוצאה מההתפתחויות הטכנולוגיות הם משויכים לרמת התשתיות הבסיסיות.
2. הידע בנושאים רבים שטופלו בעבר על-ידי קבוצות של מומחים נוצק ורוכז בתוך כלים. כיום רוכש המשתמש - באמצעות הכלים עצמם - את כל הידע ואת כל היכולות הדרושים לו. חלק מהידע נרכש בפרויקטים מסוגים ארוכי שנים, שהוסבו לכלים אזרחיים עם הירידה בתקציבי הביטחון.
3. במציאות הטכנולוגית הקיימת גוברות הדרישות, והזמן הנתון למימושן מתקצר. מערכת חדשה נדרשת ליכולות רבות, שונות ומורכבות. זמן הפיתוח הדרוש כדי להקים מערכת כזאת יהיה עצום. למעשה, זמן המענה לפתרון הבעיה שלשמה פותחה המערכת יהיה ארוך מדי, מה גם שבתוך מסגרת הזמן הזאת

עלולים לצוץ צרכים חדשים שיצריכו זמן פיתוח נוסף.

למעשה, מכתבה גישת השינוי המבני שלא לפתח מחדש חלקי מערכת הקיימים כבר כמוצרי מדף. כתוצאה מכך יצטמצם זמן הפיתוח משמעותית, והמענה לדרישות חדשות יהיה מהיר וגמיש יותר.

השפעת המעבר לשימוש ב-COTS על גישת השינוי המבני מתבטאת בהרכב ובאופי של הצוות שבונה את המערכת:

◆ **צוותי הפיתוח צריכים להתמקד בתקשורת ובאינטגרציה שבין הרכיבים השונים של הסימולציה במקום להתמקד ברכיבים עצמם.**

◆ **הרכב צוותי האפיון משתנה אף הוא, שכן רובו של שלב האפיון מתבצע למעשה אצל הצרכן, שמאפיין ומזמין על-פי צרכיו מערכת מסוימת שמורכבת ממוצרי מדף. בגישת ה-COTS אמור הצרכן, בבצעו את ההזמנה, לנקוב מצד אחד בצרכיו, אך מהצד האחר עליו להגמיש במידת הצורך את דרישותיו, על מנת שניתן יהיה להגיע ליישום קל ומהיר ככל האפשר של המערכת, תוך הרכבתה מפריטים מן המוכן – מוצרי המדף. אם אירעה התנגשות בין דרישות ליכולות מוגבלות של מערכת המורכבת ממוצרי מדף, יש להגמיש את הדרישות ככל הניתן ולהרכיב בכל זאת את המערכת ממוצרי מדף. הגישה המקובלת טוענת ככלל כי בסופו של עניין יימצא פתרון לבעיה הספציפית, וכי המחיר והזמן הכרוכים בפיתוחה של מערכת חדשה מאפס הופכים אותה ללא כדאית.**

דוגמה לשימוש

במוצרים מהמדף

פרויקט ה-Land Warrior, שיצא לדרך ב-1994, הוא חלק מתוכנית "מערך הקרב העתידי" האמריקני (FCS – Future Combat System). מלכתחילה היה הרעיון לפתח את כל הציוד של הלוחם (מדים, נשק, אמצעים לראיית לילה, מערכות מחשוב ותקשורת ועוד) מאפס. לאחר מעגלים חוזרים ונשנים של פיתוח מערכת חדשה, בחינתה והחזרתה לתיקון בעיות נוצרה ב-

1998 הגרסה הראשונה של המערכת, שמשקלה היה כ-53 ק"ג ועלותה – כ-90 אלף דולר ליחידה. בשנים שלאחר מכן הגיעו המפתחים למסקנה כי שימוש במוצרי מדף מהשוק האזרחי עשוי להביא לפיתוח מהיר יותר ולקבלת תוצאות לא פחות טובות במחירים זולים בהרבה. ואכן באמצע שנת 2000 הועמדה גרסת ה-COTS של המערכת החדשה. משקלה היה כ-42 ק"ג, ועלותה כ-10,000 דולר ליחידה – שיפור של כ-11 ק"ג במשקל ושל כ-80 אלף

דולר ליחידה בעלות לעומת המערכת הראשונית. השיפור הזה הושג בעיקר הודות לירידה משמעותית בהוצאות הפיתוח והייצור:

◆ שלב הפיתוח עסק למעשה בשילובם זה לזה של רכיבים קיימים במקום לפתחם מלכתחילה כמערכת אחת.

◆ מחירו של כל רכיב היה זול, יחסית, כיוון שלא יוצר במיוחד בעבור המערכת: מוצרי המדף מיוצרים בהיקפים מסחריים, מה שגורם, כמובן, להפחתת המחיר ליחידה.

מאפיינים של סימולציה מתקדמת

הספרות העוסקת בתחום הסימולציה דנה רבות בשני נושאים מרכזיים: אינטראופרביליות וקומפוזאביליות.

אינטראופרביליות (Interoperability)

המושג אינטראופרביליות מגיע מתחום תקשורת הנתונים ומתייחס ליכולתם של שני גורמים שונים לתקשר ולעבוד ביעילות ביחד ולשתף מידע. מערכת אינטראופרבילית נבנית מראש עם היכולת לתקשר עם מערכות אחרות, ולא נדרש מאמץ מיוחד כדי לבנות גשר ביניהן.

קומפוזאביליות (Composability)

הרעיון העומד בבסיס הקומפוזאביליות הוא היכולת ליצור מערכת חדשה הבנויה מרכיבים (Components) קיימים. קומפוזאביליות מוגדרת כיכולת ליצור, לאתחל, לעצב ולהגדיר במהירות מכלול/תרגול/אימון בהתאם לצרכים ספציפיים של המשתמש

באמצעות הרכבה לוגית של מערכת מתוך מאגר של רכיבים לשימוש חוזר. יכולתם של הרכיבים האלה ידועה ומוכחת, כך שכדי להרכיב מערכת המיועדת לשימוש ספציפי יש לבחור את הרכיבים המתאימים, לקשור אותם יחד ולבנות את המערכת. בצורה כזאת ניתן לא רק להקים מערכת חדשה במהירות רבה, יחסית, אלא גם ניתן להכניס בה שינויים במהירות (כמו הוספה או החלפה

של רכיבים לגרסאות מתקדמות יותר). המהירות הזאת מושגת הודות ליכולת לעצב (Configure/Reconfigure) בקלות את המערכת וכן לפרק ולהרכיב מחדש (Combine/Recombine) את רכיביה.

הקשר בין אינטראופרביליות

וקומפוזאביליות

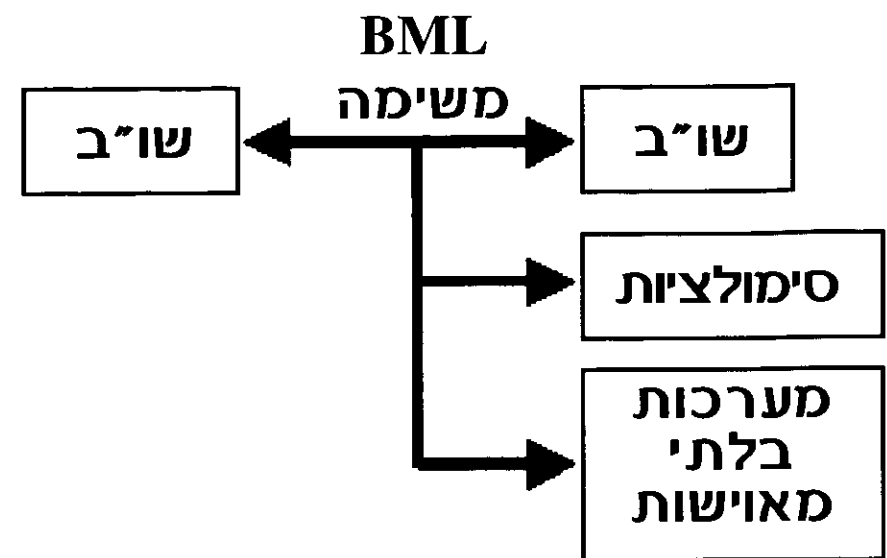
קיומה של אינטראופרביליות אינו מחייב קומפוזאביליות

השפה האחידה לניהול הקרב
אמורה להחליף את
התקשורת המילולית
והכתובה, המקובלת להעברת
פקודות בין הכוחות השונים
בשדה הקרב, בתקשורת
מובנית יותר שעוברת בעיקר
בין מערכות השליטה והבקרה
(C⁴I) של אותם כוחות

בעוד שקומפוזאביליות בלתי אפשרית ללא אינטראופרביליות. (יכולה להיות מערכת עם יכולות אינטראופרביליות גבוהות בלי יכולות לשימוש חוזר [Reuse] או לפירוק ולהרכבה של מרכיביה).

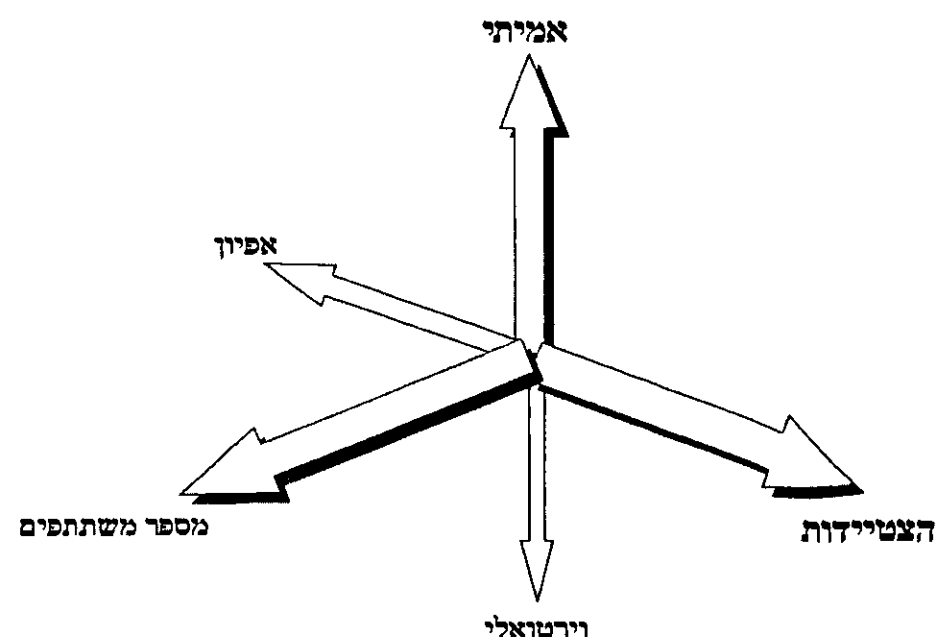
חיבור בין שני הנושאים האלה מביא ליצירת מערכת שהיא אומנם מורכבת מבחינה תשתיתית, אך בה בעת היא פונקציונלית, יעודית וידידותית למשתמש. מערכות שכוללות את שני המרכיבים האלה יקדמו את מוכנות הכוח ויקצרו את זמן הפיתוח. יתר על כן, ניתן יהיה

תרשים 4: ערוצי תקשורת שעושים שימוש ב-BML



לקשר בין המערכות שאמורות להיות בשימוש במצב אמת לבין מערכות הסימולציה. (השאיפה היא, כמובן, שהן יהיו דומות ככל שניתן ושייעשה שימוש ברכיבים זהים במערכות הסימולטיביות והאמיתיות). נוסף על כך יתקצרו תהליך הפיתוח וזמן הפיתוח עקב השימוש ברכיבים מוכנים מראש ובשל היכולת להרכיבם יחד. BML (Battle Management Language) – שפה אחידה לניהול הקרב

תרשים 5: המרחב שבו פועלת הסימולציה המערכתית



תחום נוסף, שנמצא עדיין בחיתוליו אך חשוב לנושא האינטראופרביליות, הוא שפת ה-BML. השפה האחידה לניהול הקרב אמורה להחליף את התקשורת המילולית והכתובה, המקובלת להעברת פקודות בין הכוחות השונים בשדה הקרב, בתקשורת מובנית יותר שעוברת בעיקר בין מערכות השליטה והבקרה (C^4I) של אותם כוחות (כוחות בין-לאומיים, רמות שונות של פיקוד, חילות שונים ועוד). בדרך הזאת ניתן לנהל טוב יותר את הכוחות ולגבש מהר יותר וטוב יותר את הערכת המצב (Situation Awareness) של כל כוח. שפת ה-BML עושה שימוש בתבניות אחידות של פקודות מובנות וחד-משמעיות, שבאמצעותן מעבירים (ומקבלים) המפקדים – בכל הרמות – מידע. ערוצים נוספים שה-BML מייצר להם פתרון טוב הם הערוץ בין מערכות שו"ב למערכות סימולציה וערוץ הפיקוד שבין מערכות השו"ב לכלים אוטונומיים (בלתי מאוישים). בתרשים 4 ניתן לראות שהשפה הזאת מממשת את האינטראופרביליות שבין הרכיבים השונים באותה מערכת תקשורת ופותחת פתח להעברת פקודות אוטומטית בין מערכות שו"ב שונות, אך גם למערכות סימולטיביות (לבחינת הפקודה) ולמערכות אוטונומיות (לביצוע מיידי):

שפת ה-BML חייבת לעמוד בכמה עקרונות:

- ◆ עליה להיות ברורה וחד-משמעית.
- ◆ עליה לעשות שימוש במידע שבא ממערכות השו"ב.
- ◆ עליה לאפשר לכל הכוחות והגורמים המשתתפים ברשת לשלוח מידע על מצבם ולקבל מידע על כוחות אחרים, כדי שיוכלו לגבש הערכת מצב שתהיה קרובה ככל האפשר לתמונת המצב האמיתית הכוללת.
- ◆ אסור לה להגביל את המידע שהמפקד מתכוון להעביר בהודעה.

מרחב המערכות

בתרשים 5 ניתן לראות מערכת צירים שמדגימה את המרחב שבו פועלת הסימולציה המערכתית:

- ◆ ציר אחד: מוירטואלי לאמיתי.
- ◆ ציר שני: מאפיון להצטיידות.
- ◆ ציר שלישי: עלייה ברמת המורכבות עם העלייה במספר המשתתפים (מפעילים).

דוגמה ליישום סימולטיבי המבוסס על העקרונות שהוצגו במאמר

בשנים 2001–2003 יזמה מחלקת חקר ביצועים במפא"ת מחקר על התאמת מערכות הסימולציה לשדה הקרב העתידי. את המחקר ערכה חברת "סינרג'י" בשיתוף פעולה עם מרכז ההנדסה של התעשייה האווירית. מטרת המחקר הייתה לבדוק את ההיתכנות של פיתוח סימולציית שדה קרב, הכוללת יכולת של "בינה טקטית" על גבי תשתית של מוצרים מהמדף (COTS). הרעיון שעמד בבסיס המחקר היה בחינת המשאבים הדרושים (זמן, עלויות,

מערכות לחימה מודרניות ש"מדברות" זו עם זו



המושג אינטראופרביליות מגיע מתחום תקשורת הנתונים ומתייחס ליכולתם של שני גורמים שונים לתקשר ולעבוד ביעילות ביחד ולשתף ביניהם מידע. מערכת אינטראופרבילית נבנית מראש עם היכולת לתקשר עם מערכות אחרות, ולא נדרש מאמץ מיוחד כדי לבנות גשר ביניהן

את הנתונים הרלוונטיים מיישום ה-VR-Forces ומעבד אותם בהתאם לכללי "ההיגיון העמום" (Fuzzy Logic) – על-פי הלוגיקה שנקבעה לו – לכלל החלטה בדמות פלט של ציון מספרי כלשהו לכל חלופת החלטה אפשרית. על-פי הציון שהתקבל "יודע" המפקד הווירטואלי – יישום ה-VR-Forces – כיצד לבצע את חלוקת הגזרות.

באופן דומה נבנו ויושמו במסגרת המחקר כמה "שרתי סימולציה" נוספים הניתנים ליישום גם בעולם המבצעי:

1. שרת GPS. השרת הזה מחזיר תשובה בכל עת ל-VR-Forces על רמת הדיוק של האיכון בהתאם למיקומי הלוויינים במסלוליהם. כך יכול המפקד בשדה הקרב או בסימולציה להתחשב בזמינות ובדיוק של שירותי המיקום לצורך תכנון הקרב (הכלי מהמדף: STK).
2. שרת LOS (קווי ראייה – Line Of Sight). קווי הראייה מושפעים בעיקר מתוואי הקרקע, אך גם מפרטי תכנית שונים – בניינים, צמחייה וכו'. הנתונים האלה

יכולת טכנולוגית) כדי לבנות סימולציה ולהקנות לה יכולות של בינה טקטית. לצורך פיתוחה המהיר של המערכת הוחלט לנקוט שיטת פיתוח שכוללת את העקרונות שהוזכרו לעיל במאמר הזה: התבססות על שימוש קומפוזאבילי במוצרי תוכנה מהמדף, שיתקשרו ביניהם ברמת אינטראופרביליות גבוהה. הוכחת היכולות התבצעה בהדרגה: תחילה הושגו תוצאות בתחום היכולות הפשוטות, ולאחר שאלה הוכחו, התבצע מעבר להוכחת יכולות מורכבות יותר. לצורך המחקר פותח יישום המבוסס על כלי COTS לפיתוח סימולציות שדה קרב VR-Forces. היישום דימה מתאר לחימה של פלוגת טנקים במסגרת של גדוד טנקים בשדה הקרב.

בשלב הראשון הוקנו לטנקים הבודדים בפלוגה יכולות בסיסיות של תנועה ושל אש וכן תרגולות נוספות. לאחר מכן הוקנו היכולות האלה לרמת המחלקה, תוך הוספת קוד לכלי התוכנה.

בשלב שלאחר מכן נבחנה קבלת החלטות בסיסית ברמת המחלקה והפלוגה. לצורך הקניית היכולת הזאת פותח קוד שמקורו בכלי אחר מהמדף (FuzzyTech), שהוטמע לתוך היישום. הכלי הזה עושה שימוש במתודיקת "ההיגיון העמום" לצורך תרגום קלט נתונים (תמונת מצב) לפלט של החלטה מועדפת, בהתאם ללוגיקה שאותה הגדיר המשתמש.

בשלב שלאחר מכן התבצעה עלייה ברמת האינטראופרביליות: שולבו "שרתי סימולציה" חיצוניים בעלי התמחות מסוימת, שתפקידם לתת שירות לסימולציה הראשית (שרתים שהם למעשה תוכנות מדף). הגישה הזאת נחשבת יעילה יותר, כיוון שהיא מפחיתה עומס על היישום הראשי ונוסף על כך עושה שימוש נכון במומחיות ספציפית של השרתים השונים – מוצרי המדף. בניסוי הנידון השתמש היישום, המבוסס על תוכנת VR-Forces, בשרת מומחה חיצוני לצורך השגת יכולת של קבלת החלטות מורכבות. לדוגמה, אחת ההחלטות שנבדקו הייתה אופן החלוקה של גזרות פלוגתיות לאש. לצורך קבלת ההחלטה על-ידי מערכת הסימולציה (כיצד יש לבצע את החלוקה), בוצעה ברשת פנייה של יישום ה-VR-Forces ליישום אחר, שמבוסס על תוכנת FuzzyTech Online. היישום הזה מקבל כקלט

מצריכים משאבי חישוב רבים. שרת LOS מספק את כוח החישוב הנדרש ומחזיר ליישום תשובה האם קיים קו ראייה בין נקודות שונות בשדה הקרב (הכלי מהמדף: VegaPrime).

3. שרת Aggregation (הקבצות). הצגת יישויות רבות בתרחיש יוצרת שתי בעיות: עומס חישובי שנגרם כתוצאה מריבוי היישויות ועומס ויזואלי שנגרם כתוצאה מהצגת כל היישויות הקיימות בתרחיש על גבי המסך. שרת Aggregation פותר את הבעיות האלה: הוא מספק את כוח החישוב הדרוש לתרחיש מרובה יישויות ונוסף על כך, בכל פעם שמתקבלת פנייה, "פורס" השרת את היישויות או מקבצן למסגרות בהתאם למשתמש – הרמה הפיקודית הרלבנטית (הכלי מהמדף: Vr-Forces).

נוסף על כך נבחנו במחקר רעיונות לשרתים אפשריים נוספים, כמו שרת מזג אוויר (עננות, רוח, לחצים ברומטריים וכו') ושרת מערכות חישנים (המורכב מסנסורים המאופיינים על-ידי מודלים פיזיקליים שונים).

סיכום

התקדמות הכלים, שלכל אחד מהם יכולות טכנולוגיות גבוהות מבעבר, מציעה יכולות צבאיות שלא נודעו בעבר הן מבחינת רמת האוטונומיות והן מבחינת היכולות הטכניות. בעתיד הלא רחוק ניתן יהיה לשלוט במרחב המערכות הזה. כתוצאה מכך ניתן יהיה להגיע להישגים צבאיים משמעותיים במהירות גדולה יותר ועם סד"כ קטן יותר. יחד עם זאת מדובר במערכות מורכבות מאוד, שיצריכו כוח אדם מיומן לתפעולן.

הכלי המשמעותי ביותר להתמודדות עם השינויים האלה הוא הסימולציה. במאמר הזה נידונה תרומתה האפשרית של הסימולציה לתמורות המתחוללות בצבאות: **השינוי ברמת מוכנות הכוח** הודות לשימוש במערכות סימולציה מבצעיות הדומות או זהות לאמצעי הלחימה שבהם ייעשה שימוש בעת מלחמה. בעיתות שגרה ישמשו המערכות האלה גורם מאמן לשימורה ולשיפורה של מיומנות המפעילים. בעיתות קרב הן יהיו כלי עזר תומך החלטה למפקד.

◆ **השינוי בתהליכי הפיתוח של מערכות חדשות.** שימוש בסימולציה מביא לחיסכון בזמן הפיתוח ובעלויות בשל מיקוד רב יותר בתהליך האפיון ויישום מהיר שמביא לגילוי בעיות בשלב מוקדם ביותר.

◆ **השימוש בכלים טכנולוגיים קיימים (מוצרים מהמדף).** בניית מערכת חדשה, המורכבת מרכיבים מן המוכן (כלי המדף), שיודעים לתקשר ביניהם ברמה גבוהה, מביאה לפיתוח מהיר, להורדת סיכונים ולעלויות מינימליות. כלי המדף מאפשרים ליהנות מרכיבים המיוצרים בתהליך הפיתוח ככלי בדיקה הנדסיים לצורכי תכנון ואימון. מערכות שייבנו בשיטה הזאת יוכלו להיות שותפות במערכות הרשת הגדולה (System of all Systems). נוסף על כך הוצגו המאפיינים המובילים של

סימולציה מתקדמת כיום: אינטראופרביליות וקומפוזאביליות. כמו כן הוצג תחום עתידי של שימוש בשפה אחידה לניהול קרב (BML).

לבסוף הוצג מחקר שהוכיח כי באמצעות הגישה שהוצגה במאמר הזה ניתן לבנות במהירות יחסית ובתקורות מינימליות מערכת שתענה על צורכי הצרכנים השונים של הסימולציה. החיסכון בזמן ובעלות מושג בעיקר בגלל הקומפוזאביליות של המערכת – הרכבתה ממוצרי מדף שיש ביניהם קשר לוגי, אשר מתקשרים ביניהם ברמת אינטראופרביליות גבוהה.

מקורות

המקורות ששימשו לכתיבת המאמר הזה כוללים מספר רב של פרסומים, מאמרים ודו"חות של קבוצות עבודה בגופים הבאים:

DARPA: Defense Advanced Research Project Agency
STRICOM: Simulation, Training and Instrumentation Command (Army)

USJFCOM: United States Joint Forces Command

CECOM: The U.S. Army Communications Electronics Command

SISO: Simulation Interoperability Standard Organization

DMSO: Defence Modeling and Simulation Office

J9: Joint Experimentation Directorate

כמו כן נעשה שימוש במצגות של אינטגרטורים גדולים על כיווני ההתפתחות שלהם. מדובר בחברות כמו: "לוקהיד מרטין" ו"בואינג".

וכמובן נעשה שימוש במאמרים מעיתונים ומכנסים בתחום האימון, הסימולציה, השימוש במוצרים מהמדף, שליטה ובקרה, כגון:

The Annual Testing and Training for Readiness Symposium

IITSEC: Interservice/Industry Training Simulation and Education Conference

