

פיתוח מערכות שליטה ובקרה בחיל הים כמודל*

מערכות השו"ב בחיל הים נמנות עם המערכות המתקדמות מסוגן בעולם. בפיתוח מערכות שו"ב קיים שילוב הדוק בין המרכיב הטכנולוגי למרכיב המבצעי. בתהליך הפיתוח יש לקבל החלטות טכניות, מבצעיות וניהוליות רבות, המשפיעות זו על זו יותר מאשר בפיתוח מערכות אחרות. התהליך שבו פותחו המערכות, התפיסה המבצעית, העקרונות הטכנולוגיים ותהליך קבלת ההחלטות ראויים לבחינה כמודל לפיתוח מערכות עתירות תוכנה בכלל ומערכות שו"ב בפרט

אל"ם נתן ברק

רקע

מאז מלחמת יום הכיפורים. בחיל הים התפתחה גישה האומרת כי את הקרב ינצח מי שבונה ראשון תמונה. "מהירות היא רכיב חיוני בשליטה ובקרה אפקטיביות. מהירות משמעה קיצור הזמן הנדרש לקבלת החלטות, לתכנון, לתיאום ולתקשורת".³ מכאן החל תהליך של פיתוח תורה ושל יכולות טכנולוגיות מתקדמות בתחום של בניית התמונה בתווך הימי.

מלחמת יום הכיפורים, שנחרטה בזיכרונו כאחת המלחמות הקשות שנלחם צה"ל, נחשבת למלחמה שבה ניצח חיל הים באופן מוחלט את הצי הסורי ואת הצי המצרי. חיל הים ניצח בכל קרבות הסטי"לים, השמיד בקרב הסטי"לים הראשון בעולם בלטיקה חמש ספינות סוריות ובקרב דמייט-בלטים שלושה סטי"לים מצריים.

עד לתחילת שנות ה-90 היה בחיל הים מגוון רחב של מערכות – החל מלוח לסימון מטרת ושלוחן מי"ק" בחלק מהסטי"לים וכלה במערכות ממוחשבות שונות בהתאם לסוג הפלטפורמה או המערך. המערכות פותחו על-ידי גורמים

בניית תמונה טקטית איכותית מהווה תנאי לשליטה ולמיצוי הכוח

שונים בתעשייה ובחיל, ללא ניהול מרוכז של מאמצי הפיתוח (החופפים לעיתים) וללא תפיסה מבצעית אחידה ומוסכמת. פרוטוקול העברת המידע בין המערכות התבסס על המכנה המשותף הנמוך ביותר, קרי העברת הודעות בסיסיות ביותר, שלא איפשרו מיצוי המידע בכוח ובניית תמונה בהירה ובזמן קצר. כל שינוי בפרוטוקול דרש משאבים רבים להטמעה בכל המערכים והיה "מפיל" את אחת המערכות שבה לא בוצע השינוי המתאים.

התפתחות התורה בתחום בניית התמונה והתפתחות עולם המחשוב והיכולות הטכנולוגיות הובילו לריכוז המאמצים והפעילויות בתחום פיתוחן של מערכות השו"ב ולהקמת ענף שו"ב במחלקת אמל"ח וענף משו"ב במרכז

למרות הניצחון בכל הקרבות הימיים הגיע חיל הים למסקנה כי על מנת לשפר את היכולות המבצעיות יש לשפר את תהליכי בניית התמונה ואת השליטה על הכוח. הבעיה בבניית התמונה תוארה על-ידי סגן אלכס אייל, קצין גנ"ק באח"י

"קשת" בתחקיר קרב פורט-סעיד במלחמת יום הכיפורים: "מה שהתקבל אצלנו זו תמונה עם הרבה מאוד 'מוצים'.

בסך הכול התמונה אצלנו כללה כ-20 מטרות – ביניהן שש ספינות שלנו והשאר 'מוצים'. התמונה נראתה כמבלבלת אפילו אותנו. אילו לא ידענו שאנו באמצע התמונה, הרי שאפילו את בן-זוגנו לא יכולנו למצוא".²

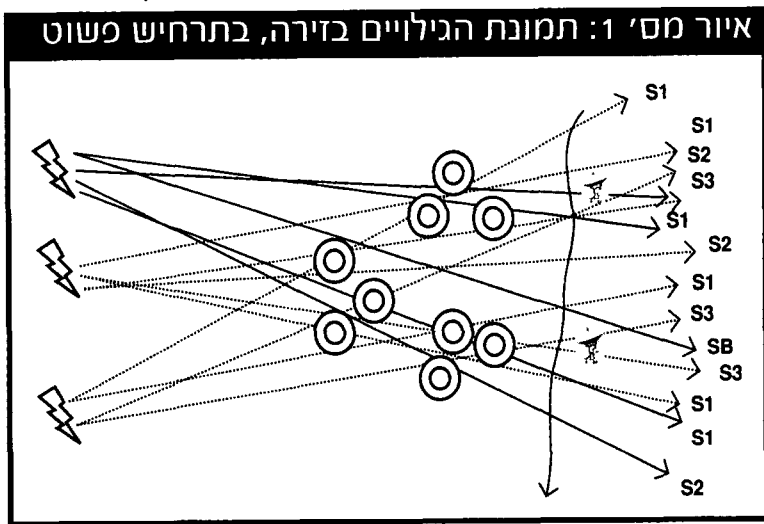
התיאור בתחקיר מייצג את הבעיה המבצעית שאותה באו לפתור תהליכי בניית התמונה והפרוטוקול החילי. ראוי לציין כי כמות המידע גדלה בסדר גודל

מפקד מרכז תקשורת
בחיל הים



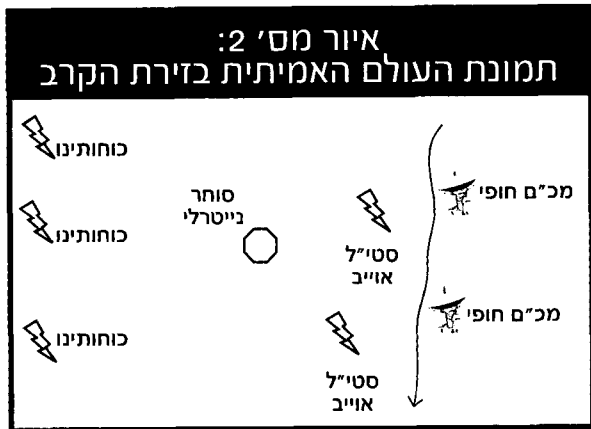
*המאמר זכה במקום שני בפרס הרמטכ"ל לכתובה בענייני צבא וביטחון, תשס"ג

החלטות ותקיפת מטרות. איור מס' 1 מתאר את תמונת הגילויים בזירה בתרחיש פשוט, יחסית, הכולל שתי ספינות אויב, סוחרת אחת וכמה תחנות מכ"ם. הכוח הימי כולל שלוש ספינות ומשתמש רק בשני אמצעי גילוי: מכ"ם ומגל"ם. כמות הדיווחים הכוללת הינה גדולה ביותר ומקשה על הבנת התמונה האמיתית של הזירה. גילוי של מטרה באמצעות מכ"ם בלבד אינו מאפשר זיהוי של המטרה, ולכן לא מאפשר ירי טיל, אלא רק לאחר קבלת נתונים נוספים. לעומת זאת הצלבה של מידע עם מגלה מכ"ם, שמאפשר זיהוי של המטרה, אך אינו מצביע על מיקומה המדויק, מאפשר זיהוי וירי טיל על המטרה. איור מס' 2 מתאר את תמונת העולם האמיתית בזירת הקרב. במתאר מבצעי, שבו יופעלו מערכות ל"א רבות וחישנים נוספים בסביבה שבה נדרש להבחין בין מטרות אויב למטרות אזרחיות או אחרות, יהיה התהליך מורכב לאין ערוך.



ניהול מרכזי וסנכרון תהליכי לחימה

האופי של מערכות השו"ב השתנה לא רק לאור איכותו ואופיו של המידע שהתקבל מהחישנים, אלא גם לאור מרכזיותה של מערכת השו"ב בתהליכי לחימה עיקריים. על מנת ליצור יתרון יחסי נדרש למצות את היכולות של מערכות הלחימה. מיצוי היכולות בא לידי ביטוי בתיאום ובסנכרון תהליכי התקפה בין כל כלי השיט, בהקצאת משאבים על-פי העדיפויות בכוח, בסנכרון תמונת האיומים ובמענה מיטבי על-פי היתרונות והמגבלות של כל אחת ממערכות ההגנה וההתקפה.



מאחר שבמתאר הלחימה בתווך הימי האמצעים מוגבלים, נדרש לתאם את האמצעים להתקפה ואת האמצעים להגנה, כך שהמשאבים יוקצו באופן אופטימלי על-פי סיכוי התקיפה, סיכויי ההגנה ורמת האיום. מערכות

המחשבים של חיל הים. עם כניסת חיל הים לפיתוחן של ספינות "סער 5" ניצבה בפנינו הדילמה, האם להגביל גם את מערכת השו"ב של "סער

"5 לעבודה באותו מכנה משותף מצומצם או להתנתק אחת ולתמיד ממגבלות העבר.

ההחלטה שהתקבלה הייתה לפתח פרוטוקול חילי חדש ותהליכים חדשים ומתקדמים בתחום בניית התמונה והפעלת הכוח על בסיס הניסיון שנצבר ועל בסיס ההזדמנויות החדשות שמעניקות מערכות הלחימה המתקדמות בחיל הים. היכולות של החישנים ושל מערכות הנשק וההגנה החדשות, קצב המידע, איכות ודיוק המידע השפיעו על היכולות בתחום של בניית התמונה בחיל ובאו לידי ביטוי גם בפרוטוקול החילי החדש. הפרוטוקול הוא מעין שפה שמטרתה "ליצור תמונה טקטית אחידה, אחודה ומוסכמת בכל מוצבי חיל הים".

ההחלטה בחיל הים לא להיצמד למכנה המשותף הנמוך ביותר ולמצות את היכולות ואת המידע של מערכות הלחימה המתקדמות לבניית תמונה מיטבית הובילה לצורך בהחלטה לשדרג את כל מערכות השליטה והבקרה ולהתאימן לפרוטוקול החילי החדש. הפרוטוקול אינו רק שפה אחידה לתקשורת בין מערכות שו"ב, אלא חלק מתפיסה כוללת של ניהול תהליכים לבניית התמונה ושל תהליכי הלחימה בכוח.

בניית תמונה בתווך הימי

במלחמת יום הכיפורים התברר כי במהלך הלחימה מוצף הכוח בכמות רבה מאוד של מידע חלקי ומטעה. הקרב יוכרע על-ידי הכוח, שיצליח לבנות ראשון את התמונה הטקטית. בבניית התמונה קיימת חשיבות רבה להיתוך המידע המתקבל מחישנים בעלי מאפיינים שונים והצלבתו בין החישנים בספינה ובין הספינות והמערכות השונות בכוח. כל אחד מהחישנים מספק מידע חלקי ואינו מאפשר קבלת

הזמינים ובניית מכלול גיבוי".⁷ שילוב מערכות הלחימה, מיצוי המידע וניצול מיטבי של המשאבים הם מכפיל הכוח וייצרו את היתרון היחסי ביחס למדינות שמצטיידות בנשק מערבי.

תהליכי קבלת ההחלטות

ההחלטה לפתח פרוטוקול חדש ולמצות את היכולות ואת התובנות בתחום בניית התמונה והשליטה ב"סער 5" חייבה את חיל הים לתת מענה לכלל המערכים בזמנים קצרים ביותר. עדכון ושכתוב של התוכנה לכלל המערכות הקיימות והתקנת מערכות שליטה ובקרה חדשות לא היו ניתנים לביצוע. הצעת מחיר, שהתקבלה מחברה חיצונית לשדרוג מערכות בחלק מהסטי"לים, הבהירה כי תהליך שדרוג המערכות והתאמתן לפרוטוקול החילי יהיה יקר מאוד ובעייתי למימוש.

במקביל הציגו מחלקת אמל"ח ומרכז המחשבים של חיל הים הצעה לפיתוח קו מוצרים מודולרי למערכות שר"ב, שייתנו מענה לכלל מערכות השר"ב בחיל – בים, באוויר ובחוף – תוך שימוש בתשתיות אחידות וביישום אחוד.

הטענה המרכזית שהעלו גורמים שונים בחיל הייתה כי פיתוח מערכות שר"ב ומודיעין מתאפיין בשינויים מתמידים, הנובעים משינויים בתורות הלחימה, מתובנות ומלקחים מבצעיים, משינויים טכנולוגיים, משינויים במערכות המתממשקות למערכות השר"ב ובמידה רבה מהניסיון ומהתובנות הנרכשים בשטח תוך כדי הפעלת המערכת ובעקבות השפעתה על הלחימה ועל הפעלת הכוח. "מערכת שר"ב אפקטיבית מספקת אמצעים וגמישות לאימוץ מצבים משתנים. פיתוח מערכת שר"ב הוא תהליך רציף של אימוץ".⁸ הניסיון להימנע משינויים במערכות שר"ב נכשל שוב ושוב. כל מערכת לחימה חדשה תדרוש שינויים במערכת השר"ב, ורוב השינויים המשמעותיים בתוך מערכות הלחימה ילוו בשינויים מתאימים

במערכות השר"ב. פיתוח מערכות שר"ב בתעשייה במחיר קבוע (Fixed Price) יגרור שינויים מתמידים, עלויות גבוהות וחוסר גמישות ביישום המערכות – מה שיפגע באיכות המערכות ובהתאמתן לטכנולוגיה המתפתחת, לסביבה ולמשתמשים.

מערכות השר"ב – יותר מכל מערכת אחרת – חייבות

השר"ב – על-פי התפיסות החדשות שהתגבשו בחיל הים – לא היו אמורות להיות לוח אלקטרוני חכם, אלא מערכות אינטגרטיביות לבניית תמונה, לשליטה ולסנכרון של כלל מערכות הלחימה. "מערך השר"ב נועד לתמוך בהחלטות מבצעיות וביישום פעולות אפקטיביות מהר יותר מהאויב בכל עימות ובכל מצב".⁶

הכיוון המרכזי בתחום מערכות השליטה, המקובל בפיתוח מערכות שר"ב בעולם בתווך הימי, מתבסס על תפיסת ה-CMS (Combat Management System). בגישת

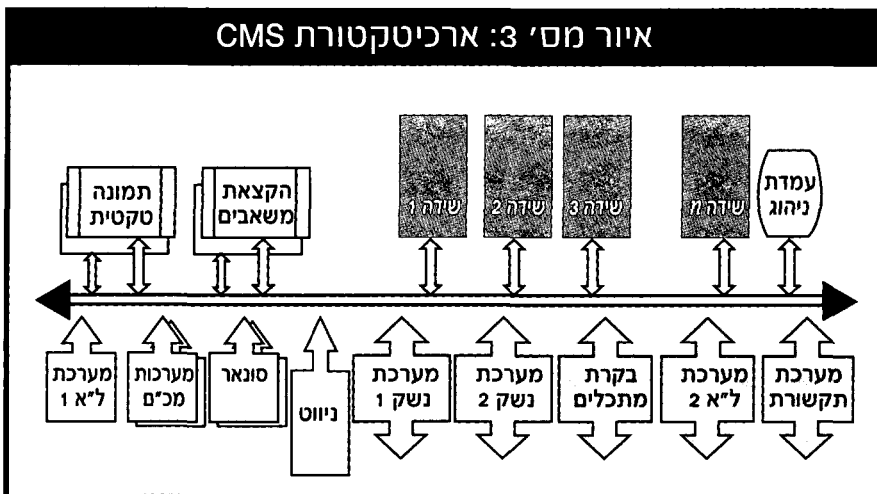
ה-CMS מתבצעת בניית התמונה באופן מרוכז ומופצת לכלל המערכות, אך מעבר לכך מבוצעת הקצאת המשאבים (משאבי תקיפה ונשק ומשאבי הגנה למיניהם) באופן מרכזי – כולל הקצאת מטרות לתקיפה, הקצאת משאבים על-פי תמונת האיומים וכדומה.

בארכיטקטורת ה-CMS יושבות כל המערכות על Bus מרכזי (מעין "צינור", שדרכו מועברות כל ההודעות בין המערכות), החישינים מדווחים על הגילויים למערכת השר"ב, וזו בונה את התמונה ומפיצה אותה לכלל המערכות. בהתאם לכך מתבצעות הערכת המצב והקצאת המשאבים לאיומים באופן מרכזי.

בתווך הימי מתבצע ניתוח הפעילות ברמת התהליך ולא ברמת המערכת הבודדת. מדובר בתהליך של גילוי, של סיווג

מערכות השר"ב בגרסתן המתקדמת אינן רק מערכות להצגת תמונה טקסטית, אלא מערכות לניהול כלל המערכה, לסנכרון ולמיצוי היכולות של כלל מערכות הלחימה והן למעשה מפעילות את כלל מערכות הלחימה

איור מס' 3: ארכיטקטורת CMS



וזיהוי, של הגנה ושל התקפה. כל מערכת המשתתפת בתהליך היא חשובה, אך ההתייחסות היא לתפוקות התהליך כולו. ההשקעות הרבות בשילוב המערכות נועדו ליצור את היתרון היחסי מול מדינות העימות. "זרוע ים נדרשת לכשירותיות לחימה מול אמל"ח מערבי, שאינו נופל מאיכותו של האמל"ח שלנו... הצעד הבא הוא מימוש רשת של כלל המשאבים

התמונה, הדרישות הבסיסיות (מפות, חתכי תצוגה, ממשקים וכו') והפרוטוקול החילי זהים או דומים מאוד. ההשקעה בתשתית כוללת הגדרה של האובייקטים, בניית מסדי הנתונים, הגדרת תהליכים, מנגנונים של Message Transfer ושל IPC-Inter Process Communication, מנגנוני התצוגה, טיפול בתפריטים, נגישות לבסיסי הנתונים, תהליכי ההסתרה/הצגה וכדומה. למערכות שונות יש אומנם לעיתים מאפיינים שונים, דרישות וצרכים שונים, המשפיעים על המנגנונים ועל הארכיטקטורות של המערכות, אך יחד עם

להתאים למשתמש "כמו כפפה ליד" בכל זמן. מפקד חיל הים ציין ב-1992 כי יש יתרון ברור לבניית שר"ב בתוך החיל. השינוי המתמיד והאינטראקציה בין המפעיל למפתח חשובים מאוד להבאת מוצר לקו הגמר.

להערכת, אין להבין מההחלטה כי מערכות השר"ב מהוות Core Capability כי לא ישולבו חברות אזרחיות בפיתוח מערכות שר"ב בחיל הים. יחד עם זאת ברור כי חיל הים חייב לשמור על שליטה מלאה בפיתוח ובשדרוגן של מערכות השר"ב שלו, וכי לא ניתן יהיה להטיל את האחריות

לפיתוח מערכות שר"ב על התעשייה באופן מלא לאור השינויים המתבקשים לאורך פיתוח המוצר, שהוא משתנה במהותו. פיתוח מערכת שר"ב עם התעשייה מחייב מודל המאפשר גמישות לשינויים בתהליך.

הגישה של "קו מוצרים" בתחום מערכות השר"ב, היכולת לאחד מערכים השונים באופיים והיכולת של חיל הים לפתח באופן עצמאי פרויקטים בהיקפים כאלה נראתה דמיונית בתחילת שנות ה-90. על מנת לבחון את התהליך ואת היכולת לפיתוח מערכות בהיקפים הנדרשים ובזמנים קצרים, יחסית, הוטל על מרכז האמל"ח ועל מרכז המחשבים של חיל הים לפתח את מערכת השר"ב לספינות נצ"ל (נגד צוללות) ולהוכיח יכולת על אחת מספינות חיל הים. הפיתוח הסתיים בזמן ואיפשר את המדרגה הראשונה במערכות השר"ב המתקדמות של חיל הים. הפיתוח הורחב לכלל הסטי"לים בחיל הים ולאחר מכן אושר למערך השליטה החופי ולכלל המערכים המוטסים והמושטים בחיל. כל אחד מהשלבם אושר בנפרד על

בסיס הניסיון שהצטבר בשלב הקודם תוך התאמת האפיונים והפתרונות הטכנולוגיים לניסיון המצטבר בשטח.

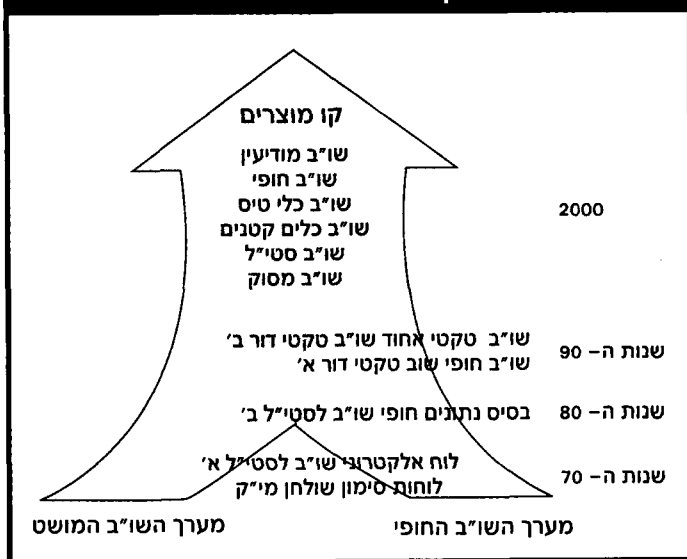
המרכיב הטכנולוגי

פיתוח מערכות השר"ב התבסס על כמה עקרונות מרכזיים, שתרמו רבות להצלחת התהליך. העקרונות כללו פיתוח קו מוצרים לכלל מערך השר"ב, פיתוח מדורג (Evolutionary Acquisition)⁹ הממוקד ביכולת הליבה ומוסיף בהדרגה יכולות נוספות במהלך עידון הדרישות תוך שימוש במודל הספירלה (כפי שיורחב בהמשך), התבססות על ארכיטקטורה פתוחה, גמישות ביישום כפרמטר מרכזי ושימוש בטכנולוגיות ובמוצרים מסחריים (COTS)¹⁰ זמינים ומוכחים המשודרגים עם התפתחות הטכנולוגיה.

פיתוח קו מוצרים

פיתוח תשתיות למערכות עתירות תוכנה מהווה השקעה כבדה וטומן בחובו את הסיכון הגבוה ביותר. הדרישות הבסיסיות מהתשתיות ומהמנגנונים הנדרשים זהות במערכות בעלות מאפיינים דומים, כגון בכלל מערכות השר"ב. האובייקטים במערכות השר"ב הימי, תהליכי בניית

איור מס' 4: קו מוצרים למערכות השר"ב



זאת, לעיתים קרובות בבנייה נכונה של התשתיות אין הכרח כי התשתיות והמנגנונים יהיו שונים.

בשנים האחרונות מתפתח השימוש בסביבות של ה-.NET ושל ה-J2EE, שמרחיבות את השימוש בתשתיות משותפות מעבר לשירות של מערכות ההפעלה, אך מהוות שלד שאינו מנצל באופן טבעי את התשתיות האפליקטיביות המשותפות. "מערכות מודולריות הן רשת של תת-רכיבים, היוצרים מוצר שהינו יישות כוללת אחת, אשר ניתן לארגן בקונפיגורציות שונות בהתאם לצורכי הלקוח והעדפותיו".¹¹ ישנה חשיבות רבה מאוד לשימוש בתשתיות זהות. השאיפה ל-Software Reusability נובעת מהבשלות של התוכנה, שהיא פרמטר קריטי, ומהחסכון בבדיקות רבות ומקיפות של אלפי שורות קוד שכבר נבדקו. הניצול המיטבי של Software Reusability יהיה בתחום התשתיות (שמהוות, כאמור, את החלק החשוב והמרכזי בכל מערכת). בטכנולוגיית ה-Object Oriented Design (OOD) תשתיות משותפות משמעותן מימוש פונקציונליות רבה, הכוללת הגדרת אובייקטים, class משותפים, פעולות נדרשות על אובייקטים, תכונות הורשה, פעולות תצוגה, ביטול וכד'. אחת הדרישות המתחייבות בפיתוח מערכות עתירות

שפה אחידה, התמצאות של אנשי המבצעים במעבר ממערך אחד לאחר, ניצול פיתוח במערך אחד לטובת אחר, שילוב תובנות ותורות שהתפתחו בכל אחד מהמערכים, צמצום הכשלים בממשקים בין המערכות ושדרוג המתקבל בכלל מערכות הלחימה עם הכנסתו של שינוי כלשהו באפיון המבצעי.

גישה זאת של "קו מוצרים" יושמה גם ב"קווי מוצרים" לסימולטורים בחיל הים, ניתן להרחיבה למשפחות של מערכות נוספות, והיא מיושמת בחלק קטן (מדי) של המפעלים הביטחוניים באופן מעשי. יישום הגישה דורש גיבוש טכניקות פיתוח וארכיטקטורות תוכנה התומכות בתהליך.

מערכות "פתוחות" ושדרוג מתמיד

מערכות השו"ב נדרשות יותר מכל מערכת אחרת להיות גמישות לשינויים, הכוללים שינויים טכנולוגיים, שינויים באפיונים המבצעיים במערכות המתממשקות וכו'. לכן הדרישה הבסיסית ביותר בפיתוח תוכנה למערכות שו"ב היא ארכיטקטורה פתוחה (Open System) ומודולריות מלאה. הדרישה לפיתוח קו מוצרים חידדה והרחיבה את הצורך בארכיטקטורה פתוחה ובגמישות לשינויים. מפקד חיל הים, אלוף יידיה יערי, הגדיר באופן תמציתי את הצורך בשדרוג בשיחת פתיחה עם קציני החיל, שבה ציין כי "ינצח מי שישדרג ראשון".

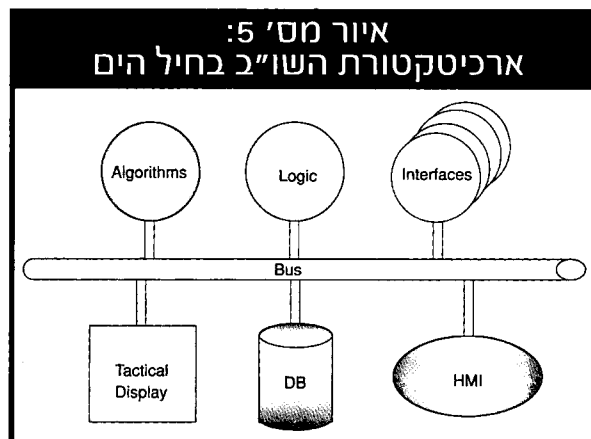
באופן ציורי וכללי מאוד, הארכיטקטורה שנבחרה בפיתוח מערכות שו"ב בחיל הים התבססה על Bus - מעין צינור שדרכו זורם כל המידע בין התהליכים - שעליו ישבו כל התהליכים. כל תהליך שיושב על Bus מאזין להודעות/ מידע המעניינים אותו, מעבד את המידע ומפיץ שוב על ה-Bus את המידע המעובד, שעשוי לעניין תהליכים אחרים (Publish/Subscribe).

באופן כזה התהליכים אינם מכירים זה את זה, והחלפה של תהליך גרפיקה, לדוגמא, עקב שינוי טכנולוגיה גרפית או עקב מעבר לפלטפורמה חדשה אינו דורש שינויים בכלל התהליכים. אופן מימוש זה אף מאפשר ביזור של תהליכי המערכת על מספר מחשבים שונים ללא כל צורך בשינויי תוכנה, למעט בקובצי קונפיגורציה. יכולת זו סייעה לשפר ביצועים ולאזן עומסים על צווארי בקבוק במערכת החוף על-ידי

הוספת מחשב נוסף וללא כל צורך בפיתוח תוכנה.

באיור מס' 5 מתוארת ארכיטקטורת משפחת השו"ב בחיל הים. בארכיטקטורה זאת "יושבים" התהליכים

תוכנה היא פיתוח תשתיות רחבות וקווי מוצרים בניגוד לפיתוח ארכיטקטורה למערכת ייעודית. המאמץ בפיתוח תשתית למערכות עתירות תוכנה הוא גדול מאוד מכדי להטילו על מערכת בודדת או על לקוח בודד. מבחינה זאת פיתוח מערכות שו"ב באופן עצמאי בחיל מהווה חיסרון. במודל נכון של שיתוף פעולה עם התעשייה ניתן לחלק את ההשקעות בתשתיות הגנריות בין התעשייה לחילות ולמנף את ההשקעות על-ידי שימוש בתשתיות ללקוחות נוספים. משך הזמן הנדרש לבשלות הארכיטקטורה ולניפוי השגיאות ותקלות התוכנה ארוך לעיתים ממשך חיי הפרויקט, ולכן רצוי ונדרש להשתמש בארכיטקטורות מוכחות או בארכיטקטורות המשמשות לכמה מערכים ולא לייעוד



ספציפי. שימוש בארכיטקטורה לקווי מוצרים יבטיח השקעות מתאימות ותמיכה לאורך זמן בתוכנת התשתית. יש לזרז כי התכנון והארכיטקטורות נותנים מענה לקווי מוצרים, וכי השימוש בארכיטקטורה לאפליקציה אחת אינו יוצר מגבלות באפליקציה אחרת. "ארכיטקטורת מוצר מודולרי מאפשרת מינוף למספר רב של מוצרים בווריאציות שונות על-ידי חיבור והתאמה של רכיבים פונקציונליים שונים"¹².

הטענה שרווחה בשלבים של גיבוש הרעיון הייתה כי תורת הלחימה ותפיסת ההפעלה השונות במערכת השליטה החופי ובמערכת השליטה המושט והמוטט וההתייחסות השונה לתהליכים, לאמצעים ולאובייקטים השונים לא יאפשרו איחוד מערכות חופיות, מושטות ומוטטות. אולם לגישת "קו המוצרים" זכות קיום גם כאשר נדמה, לכאורה, כי רב השונה על הדומה.

התרומה המכרעת לגישת "קו המוצרים" הייתה לא רק טכנולוגית אלא בעיקר מבצעית. איחוד המערכות איפשר

גמישות לשינויים טכנולוגיים, התאמה לקו מוצרים ויכולת בדיקה הן פרמטרים מרכזיים בתכנונה וכגיבושה של ארכיטקטורת התוכנה של מערכות השו"ב. מבחן הגמישות הוא ביכולת להחליף תהליך בודד עקב שינוי טכנולוגי או ביישום בפלטפורמה אחרת בלי לפגוע/לשנות את שאר מרכיבי המערכת

המטפלים בממשקים למערכות החיצוניות על ה-Bus ומדווחים על המידע המתקבל מהמערכות השונות. התהליכים האחרים, כגון תהליך הלוגיקה, התצוגות וכדומה מאזינים ומחליטים האם ההודעות מעניינות ומה עליהם לעשות בעקבות העדכון.

ארכיטקטורת מערכות שו"ב תומכת גם בתהליכי בדיקות וביכולת מובנית להקלטה של כל האירועים במערכת ולשחזורם בקלות עד למקום שבו מתגלית התקלה. תהליכי הבדיקות והיכולת לשחזר את התקלות הם מרכיב קריטי במערכות עתירות תוכנה ומאפשרים להגיע ליציבות טובה של המערכות בזמן קצר, יחסית. בגיבוש ארכיטקטורה מסוג זה נדרש לתת מענה ותשומת לב לנושאים הדורשים תגובה בזמן אמת. גם לדרישה זו קיים מגוון של פתרונות המאפשרים תגובה מהירה בלי לפגוע בארכיטקטורה הבסיסית.

ארכיטקטורה זו הוכחה בעשור האחרון כאשר אותה תשתית/אפליקציה התאימה למערכות השו"ב החופיות, המושטות והמוטסות למרות ההבדלים בלוגיקה של השליטה ושל הפצת המידע. יתרה מכך, אותה ארכיטקטורה מורצת היום בקונפיגורציות שונות בסביבות עבודה שונות ועל פלטפורמות שונות - על מערכת הפעלה Unix בתחנות עבודה או על Linux במחשבי PC תוך השקעות זניחות ביחס למאמץ הנדרש בתהליך אחר עבור פיתוח מערכת ייעודית בנפרד.

הגמישות בפיתוח התוכנה של מערכות השו"ב אינה מספקת, ונדרשת גמישות רבה גם בשדרוג חומרת המערכות. בתחילת שנות ה-90, כאשר השימוש

במוצרי COTS באפליקציות צבאיות היה בחיתוליו, החלטנו על שימוש בטכנולוגיות אזרחיות ובסביבות עבודה הנמצאות בשימוש מסיבי באפליקציות שאינן צבאיות. הרעיון המרכזי, שהיום נראה ברור יותר, הוא לאפשר ניצול ההשקעות הרבות בסקטור הפרטי בתשתיות התוכנה ובטכנולוגיות האזרחית. על מנת לאפשר שדרוג קל ופשוט של המערכות השתמשנו במוצרים אזרחיים לחלוטין, שהותקנו ב"אינקובטור" או במארז שהגן על המוצרים מתנאי הסביבה. ה"אינקובטור" ספג את תנאי הסביבה החיצוניים ואיפשר תנאי סביבה המקובלים בסביבות אזרחיות. גישת האינקובטור איפשרה

שדרוג מהיר, זול ופשוט של המערכות ושל הטכנולוגיות, מאחר שבסביבה האזרחית נהוג לשמור על תאימות לשדרוגים של הסביבות ושל החומרות - מה שמאפשר זהות בין מערכות השו"ב המושט למערך השליטה החופי. ההשקעה ב"אינקובטור" זניחה לחלוטין ביחס לעלות שדרוגה של מערכת כלשהי שאינה מיוצרת בייצור המוני.

מודל הספירלה

מודל הפיתוח שעליו התבססנו בפיתוח מערכות השו"ב בחיל הים הוא מודל הספירלה של בוהם.¹³ מודל זה הוא בבסיסו מודל Risk Driven, התוקף בשלבים מוקדמים את המרכיבים הקריטיים והמסוכנים ביותר בפיתוח המערכת: סיכונים טכניים והתאמה לסביבה, סיכוני חריגה בתקציב וסיכונים הנובעים מהמשתמש, מהסביבה

מודל הספירלה מאפשר השקת המוצר בזמן קצר בסביבה המבצעית והתאמת המוצר לדרישות המבצעיות ולניסיון המצטבר

רבים אחרים ומהטכנולוגיה.¹⁴

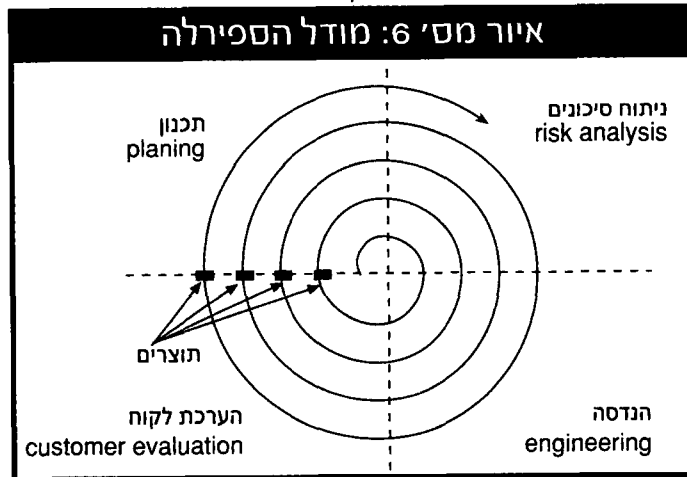
כל סיבוב בספירלה מייצג תהליך שלם, שבסופו מוצר בעל ערך מבצעי, שניתן להפעילו כמערכת. זיהוי מוקדם של הסיכונים מאפשר הגדרה של השלבים והתמודדות עם הסיכונים בשלבים מוקדמים, כאשר מרחב הפתרונות גדול יותר. במודל הספירלה

המתואר באיור 6 מתבצעים בכל אחד מהסיבובים הגדרת דרישות, ניתוח סיכונים, תכנון ומימוש השלב שהוגדר.

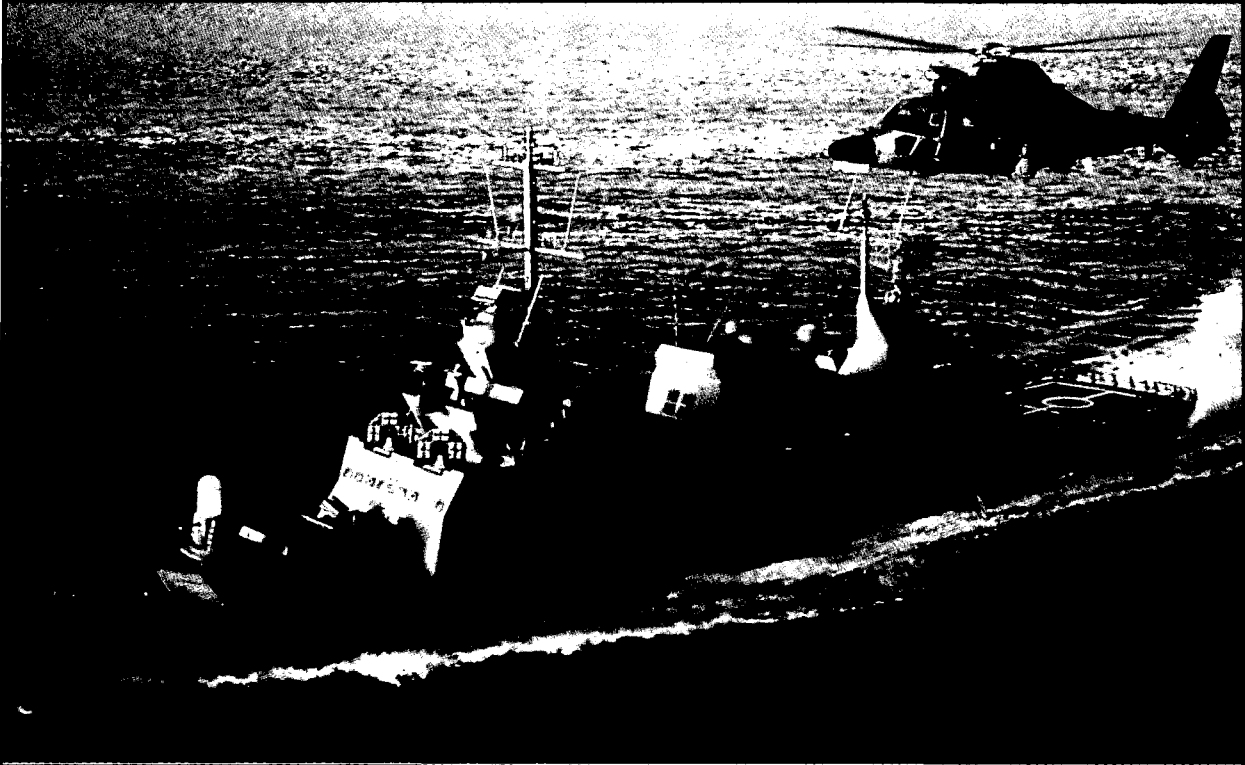
מודל הספירלה מאפשר להתמקד בעיקר. חלק מההתמודדות עם הבעיה של הגדרת דרישות יתר (Over Specification) יהיה לא רק בניסיון "לחנך" להורדת הדרישות

המיותרות, אלא גם בדחיית השינויים והדרישות הפחות חשובים לסבבים מאוחרים, שגם אם לא נגיע למימושם, לא תיפגע המהות של המערכת.

החשיבות המרכזית - מעבר לזיהוי מוקדם של הסיכונים במערכת ותעדוף הדרישות - היא בקבלת משוב מהלוחמים לגבי ביצועי המערכת ובחינה מוקדמת של המערכת בשטח. התאמת המערכת למתאר המבצעי במערכות עתירות תוכנה בכלל ובמערכות שו"ב בפרט היא בבחינת סיכון. שילוב מוקדם של מרכיבים בסיסיים במערכת מאפשר בחינתה בשטח, הסקת מסקנות לסיבובים הבאים של הספירלה



ספינת טילים "סער 5" ומסוק ימי מסוג "דולפין"



שדרון מערכות השו"ב בחיל הים איפשר שילוב ומיצוי היכולות של פלטפורמות חדשות

בהתקשרות במחיר קבוע הוא קשה יותר ליישום במערכות שאינן בפיתוח עצמי, שכן הוא מחייב הגדרה מראש של החוזה, של המפרט ושל התכולות. בזהם¹⁹ מצביע על הבעייתיות של חוזים שאינם מבוססים על "design to cost", המתחייבים ממודל הספירלה הקלאסי, ומציע להרחיב את המודלים לחוזים במחיר קבוע. לדעתי, גם ליישומו של מודל הספירלה בשיטת המחיר הקבוע עם חברות חיצוניות יתרונות חשובים, ובהם התמקדות בעיקר ודחיית השינויים לסיבובים מתקדמים, יצירת תזרים מזומנים המייצג את התפוקות המבצעיות, יצירת מוטיווציה להמשכיות של צוות הפרויקט לאורך זמן ועוד.

למודל הספירלה יש מגבלות וחסרונות שאליהם לא התייחס בזהם במאמר שבו הציג את המודל. המודל

הנפוץ ביותר בתחילת שנות ה-90 – במיוחד בתעשייה הביטחונית בעולם – היה מודל "מפל המים",²⁰ שהניח בבסיסו כי "אין שינויים קטנים בתוכנה", וכי "עלות השינוי עולה אקספוננציאלית כפונקציה של הזמן". בהתאם לכך גובשו העקרונות במודל "מפל המים", שעל-פיהם יש להגדיר

וודאות טובה יותר לגבי סטטוס הפרויקט. גישה זאת משלבת את הדרג הלוחם בתהליך הפיתוח ומבטיחה התאמה טובה יותר למשתמש (Voice of Customer). "מבנה אפקטיבי של מערך שליטה ובקרה נשען על שילוב בין כוח אדם מיומן, משנה מבצעית סדורה ומערכות ממוכנות באיכות גבוהה".¹⁵ גישה דומה למודל הספירלה ניתן למצוא בדבריו של אלוף (מיל) ד"ר בן-ישראל לגבי פיתוח מערכות שליטה, בקרה

ומודיעין: "קיצור קבוע הזמן האמור צריך להיות אחד היעדים המרכזיים בכל מדיניות פיתוח, ובניגוד לאמונה הרווחת, היעד הזה ניתן פעמים רבות להשגה".¹⁶ בן-ישראל ממליץ כי קבוע הזמן לסגירת חוג פיתוח של מערכות משו"ב צריך להיות קטן מקבוע הזמן הדינמי של השתנות הצורך והתפיסה המבצעיים וקטן מקבוע הזמן הדינמי

של סבב ממלאי התפקידים העוסקים בפיתוח. לטענתו, "פיתוח של מערכת משו"ב, הנמשך זמן רב מדי, נידון כמעט מראש לכישלון".¹⁷

מודל הספירלה מתאים במיוחד במקרים שבהם צפויים שינויים רבים במהלך הפיתוח.¹⁸ יחד עם זאת, מודל הספירלה

פיתוח ומימוש מערכות על-פי מודל הספירלה מחייב ארכיטקטורה התומכת בשינויים ובאוטומציה של בדיקות להורדת התקורות הנובעות מסככי בדיקות וייצור גרסאות תוכנה

את כל הדרישות ללא איזודאות כלשהי לפני שלב התיכון והקיוד, ויש לפתח ולקודד את כל דרישות המערכת במקביל (מודל זה עודן והפך להיות פחות קשיח בשנים האחרונות). מודל הספירלה אינו מתייחס לתקורות המתקבלות מהכפילויות ומהחזרות הרבות של תהליכי הבדיקות בכל אחד מהסיבובים. פיתוח בגישת הספירלה מחייב אם כן תמיכה רחבה בארכיטקטורת

השילוב והמעורבות של הלוחמים בתהליכי הפיתוח, ריכוז המאמצים על-ידי פיתוח קו מוצרים והגמישות כפרמטר מרכזי בתכנון הם גורמים קריטיים להצלחת פיתוח של המערכות

של המאמצים, סנכרון מובנה (ברמת הקוד), התאמה למגוון רחב של פלטפורמות והתמודדות עם שינויים טכנולוגיים ומבצעיים במהלך פיתוחן של מערכות השו"ב בחיל הים. החזון המבצעי והטכנולוגי, השילוב ההדוק בין גורמי השטח ואנשי הטכנולוגיה, אחדות הפיקוד והמטרה ורצף של החלטות טכנולוגיות ומבצעיות הניבו את ההצלחה בפיתוחן של מערכות

השו"ב בחיל הים.

המערכת לקבלת שינויים בתהליך - דוגמת הארכיטקטורה שהוצגה לעיל - מערכי בדיקות אוטומטיים, שיאפשרו חזרה על הבדיקות במאמצים קטנים, יחסית, ואוטומציה בתהליכי הפקת הגרסאות. כיוון שמערכות שו"ב צפויות - על-פי הגדרתן - לשינויים, נכון להיערך להפקת גרסאות ותהליכים איטרטיביים מראש.

מימוש הפיתוח בשלבים שהיווה גישה מרכזית בפיתוח מערכות השו"ב בחיל הים גרם לתעדוף "דינמי" של הדרישות המבצעיות כך שהדרישות החשובות מומשו קודם, והתופעה של מימוש פונקציות שאינן בשימוש הייתה זניחה. המודל איפשר לבחון את התוצרים שסופקו למערך הלוחם, להסיק מסקנות, להפיק לקחים ולהתאים את תוכניות העבודה - בהתאם ללקחים - למחזורי הספירלה הבאים.

פיתוח המערכות במחזורים קטנים איפשר להפחית סיכונים בתהליכי קבלת החלטות בהנהלת חיל הים. גישה זאת נבחנה על-ידי מבקר מערכת הביטחון, והוא ציין כי פיתוח מערכות עובדות במעגלים קצרים תוך הוכחת יכולת טכנית ומבצעית הוכיח את עצמו ותרם להצלחת פיתוח המערכות וליישומן בחיל הים.

סיכום

מערכות השו"ב בחיל הים מהוות את אחד המרכיבים החשובים בעוצמתו של החיל ומקנות לו יתרון ביחס למדינות העימות. כמות המידע, הקצבים המהירים ומורכבות מערכות הלחימה מחייבים בניית תמונה מהירה ומדויקת בזמנים קצרים וסנכרון מערכות הלחימה למיציא היכולות והמשאבים שלהן.

ההצלחה בפיתוח מערכות שו"ב בחיל הים נשענת על מספר מרכיבים קריטיים. השילוב והמעורבות המלאה והאינטנסיבית של הלוחמים, של אנשי המבצעים, של קציני הגנ"ק ושל המפקדים בתהליך האפיון והפיתוח איפשרו להתאים את המערכות למתארים המבצעיים ולהטמיע את המערכת בקלות יחסית. הפיתוח בגישת הספירלה איפשר לצמצם סיכונים, ללמוד תוך כדי התהליך ולשפר באופן תמידי את היכולות המבצעיות ואת ההגדרות של המערכות. הגישות הטכנולוגיות, שהתבססו על קווי מוצרים, על ארכיטקטורות פתוחות ועל גמישות בפיתוח כפרמטר מרכזי, איפשרו ריכוז

הערות

1. גנ"ק - גילוי, ניווט וקשר.
2. קטע מדבריו של סגן אלכס אייל, קצין גנ"ק באח"י "קשת", בתחקיר **קרב פורט-סעיד** במלחמת יום הכיפורים.
3. **Command and Control (MCDP 6)**, United States Marine Corps, October 1996, p. 65
4. מי"ק - מרכז ידיעות קרב.
5. מגל"ם - מגלה מכ"מים.
6. **MCDP 6 (1996)**, Foreword
7. ידידה יערי, "זרוע הים 2000 - אתגר ומענה", **מערכות**, 368, 1999
8. **MCDP 6 (1996)**, p. 46
9. **Spiral Development and Evolutionary Acquisition - A Report on the SEI-CSE Workshop** (September 2000), Carnegie Mellon Software Engineering Institute
10. Commercial of the Shelf - COTS
11. Langlois, R.N. and Robertson, P.L. (1992), **Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries**
12. Sanchez, R. and Mahoney, J.T. (1996) "Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design". **Strategic Management Journal**, 17, (Winter Special Issue), 63-76
13. Bohem B., TRW, 1998, "The Spiral Model for Software Development and Enhancement", **Computer**, Vol. 21, No. 5 pp. 61-72
14. Pressman R. J., 1994, **Software Engineering - A Practitioner Approach**, Third Edition, European Adaptation, McGraw Hill Company, Europe London
15. **MCDP 6 (1996)** page 51
16. יצחק בן-ישראל, "על חוקי הפיזיקה ועל מערכות משר"ב", **מערכות** 326, 1992, עמ' 40-42
17. שם, עמ' 41-42
18. בוהם, שם, עמ' 69
19. שם, עמ' 69-70
20. Boehm B. W., 1981, **Software Engineering Economics**, New Jersey, Prentice Hall, pp. 35-47

