



טכנולוגיות תקשורת, טיבוד ותצוגה

אל"מ (מילי) ד"ר י' בעל-שם*

רות" של כוחות לוחמים, שפירושו — כי חוסר יכולת לתקשורת יעילה עלול לגרום להפסד במלחמה גם כאשר קיימת עדיפות בכוחות ובאמצעי לחימה.

גם הצבא הסובייטי החל לאחרונה להכניס גישה הנדסית לתהליך הפיקוד. בעקבות לקחי הצבא הסובייטי ממלחמת יום הכיפורים נמצא כי במלחמה באפגניסטן היה בשימוש המושג Upravlenie Voiskami שפירושו המילולי "בקרת כוחות" אבל מובנו דומה ל"שליטה ובקרה", ועיסוקו בין היתר בטיפול, בשילוב ובתצוגה של נתונים בצורה יעילה למקבל ההחלטות תוך שימוש באמצעים טכנולוגיים.

תחומים טכנולוגיים

מבחינה טכנולוגית ניתן לחלק את הנושאים הישימים לשליטה, בקרה, תקשורת ומודיעין לשני תחומים ראשיים ולתחום משנה שלישי:

שני התחומים הראשיים הם: האחד: תקשורת — יצירה (גנרציה) העברה וגילוי של אנרגיה אלקטרומגנטית בתחומי תדרים מקובלים או חדשים (גמ"מ, סיבים אופטיים) ובשיטות חדישות (לוויינים, אנטנות, גלי שטח אקוסטיים). והשני — מחשבים ומערכות עיבוד ואחסון נתונים.

התחום המשני הוא אמצעי התצוגה של המידע.

בציר מס' 1 חולקו שלושת התחומים לתחומי משנה כדלהלן:

נושאים המתייחסים בעיקר לתקשורת:

- תדרים (ברדיו ובתקשורת קווית).
- תמסורת (קווית ובגלי רדיו ואור).
- נושאי מיתוג (מיתוג במרחב, בתדר ובזמן).

נושאים המתייחסים בעיקר לעיבוד ואחסון:

- עיבוד נתונים.

המפקד, מה עוד שלאויב היה קל לאתרם ולהשמירם. עקב כך גם לא נתנו הצבאות עדיפות לנושא התקשורת.

סימני השינוי הראשונים באו עם תחילת תקופת המוליכים-למחצה, כאשר התחילו להכליל בצידוד הצבאי טרנזיסטורי הספק ומתגדים גבישיים. כתוצאה מטכנולוגיות חדשות אלה ניתן היה לצמצם את צריכת ההספק, להגדיל את אמינות הצידוד ולשפר את טיב התקשורת באמצעות קשר חד-פס. השימוש במרכיבי תדר מדויקים אפשר לשפר את דיוק התדר וכתוצאה מכך להגדיל את מספר האפיקים הזמינים לתקשורת.

הופעתו של המעגל המוכלל על פיסת סיליקון היא שגרמה למעשה למה שמכנים כיום "מהפכת התקשורת".

פיתוחם של המיקרו-מחשבים ושילובם של מעגלים מוכללים בצידוד התקשורת קידם את השילוב בין מחשבים לתקשורת ויצר את טכנולוגיות השליטה והבקרה. אחד ממוצרי הלוואי של

שילוב התקשורת והמחשב היה התפתחותה של התקשורת הספרתית, שבה (כפי שיוסבר בהמשך), מועבר כל המידע בצורת דפקים ספרתיים אשר, בין היתר, קל יותר להצפינם באמצעים אלקטרוניים מאשר את האותות התקבילים המקוריים. לכך ניתן להוסיף את שילובם של לווייני התקשורת, אשר סייעו לפתור את בעיית טווח התמסורת של התדרים שבתחום הגבוה יותר של הספקטרום. כל אלה חברו יחדיו לפתיחת אפשרויות טכנולוגיות נרחבות לפיתוח אמצעים להעברת מידע מאדם לאדם, מאדם למכונה (או מחשב) וממכונה (כגון מחוש) לאדם או למחשב.

בד בבד עם ההתפתחות הטכנולוגית גדלה גם חשיבותן של מערכות השליטה והבקרה בצבאות המערב עד אשר הן הוגדרו לא פעם כ"מפתח להישר-

טכנולוגיות התקשורת החשמלית מופעלות בצבאות העולם עוד מסוף המאה ה-19 ומאז הן עברו התפתחות מתמדת אך איטית למדי. מאז שנות ה-60 של המאה ה-20 קיבלה התפתחות זו תנופה. התקשורת הצבאית החלה להתפתח במהירות והחלו לשלבה במסגרות רחבות יותר. תחילה נוצר המושג "שליטה, בקרה ותקשורת C³" — Command, Control & Communications ולאחר מכן נוצר המושג "שליטה, בקרה, תקשורת ומודיעין C³I" — Command, Control, Communications & Intelligence.

מטרת הדברים הבאים היא לדון בהיבטים הטכנולוגיים של מערכות שליטה ובקרה ולסקור את המגמות הטכנולוגיות הצפויות בעשור הקרוב (ער 1990).

האמצעים הראשונים, אשר שימשו לתקשורת חשמלית היו קווי הטלפון והטלגרף הקווי, ומאז תחילת המאה העשרים — קשר הרדיו. צידוד התקשורת שהופעל ב-60 השנים הראשונות היה בנוי משפופרת ריק וממסרים שפותחו בעשורים הראשונים של המאה. הצידוד היה בעל נפח גדול, צרך כמות גדולה של הספק חשמלי ואמינותו הייתה נמוכה. כתוצאה מכך ניתן היה לסמוך רק באופן חלקי על אמצעי התקשורת החשמליים שעמדו לרשות

* קצין (מילי) בחיל הקשר והאלקטרוניקה. מנהל המרכז לחיזוי טכנולוגי שליד אוניברסיטת ת"א. מאמר זה הינו השני בסדרת המאמרים בנושאי שליטה ובקרה. המאמר הראשון "מערכת שליטה ובקרה לצה"ל — מותרות או הכרח?" מאת אל"מ לייבל ראה אור ב"מערכות" 282, עמודים 74-72.

- הקמה ותפעול של בסיסי נתונים.
- עיבוד אותות.
- נושאים המתייחסים בעיקר לתצוגה:
- מסופים.
- צגים.

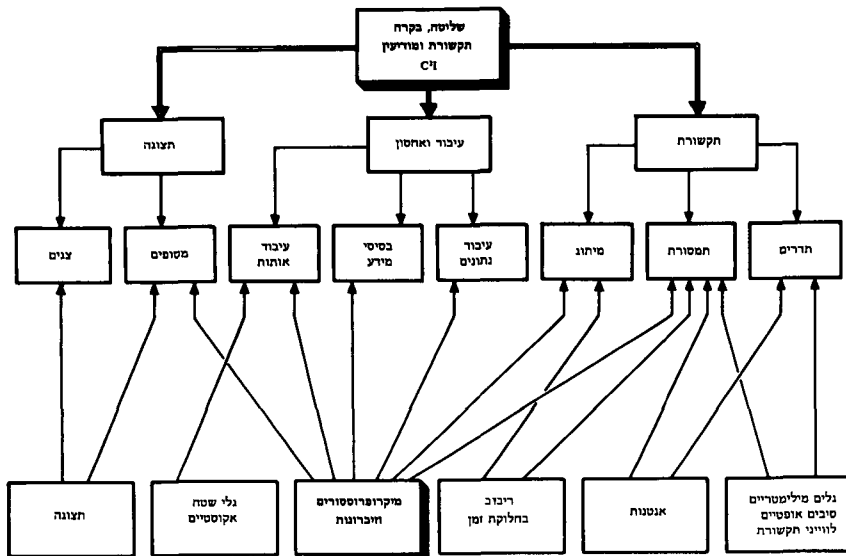
יצויין כי כל אחד מתחומי המשנה מתייחס ליותר מתחום ראשי אחד. בהמשך ציור מס' 1 פורטו הטכנולוגיות העיקריות הישומות לנושא השליטה, הבקרה, התקשורת והמודיעין וצוין הקשר בין כל טכנולוגיה לתחומי המשנה.

בהמשך מאמר זה נדון בכל אחת מן הטכנולוגיות המפורטות בציור.

מיקרופרוססורים וזיכרונות

אין ספק כי ההתפתחות המהפכנית ביותר חלה בתחומי המיקרואלקטרוניקה וכי רוב תחומי הפעילות שהוזכרו עד כה מושפעים ויושפעו גם בעתיד ממגמות הפיתוח הטכנולוגי בתחום זה. הפונקציה הבסיסית במעגלי תקשורת ומחשוב היא "השער הספרתי הלוגי" המבקר את זרימת המידע, ואשר ממנו בנויות כל המערכות לעיבוד האותות ומערכות המיתוג הספרתיות. תחילה השתמשו בשפופרות ריק כשערים לוגיים ולאחר מכן בטרנזיסטורים בדי-דים, שכל אחד מהם שימש כשער. פיתוח טכנולוגיות המיקרואלקטרוניקה אפשר לבנות מעגלים מוכללים הכוללים עשרות אלפי שערים לוגיים על גבי פיסת סיליקון של חמישה מילימטרים רבועים ולחברם יחדיו כך שיהיה באפשרותם לבצע את כל הפעולות הנדרשות ממחשב — אלה הם המיקרופרוססורים. המחשב הספרתי הראשון (ENIAC) שנבנה ב-1945 הכיל 19,000 שפופרות ריק ומשקלו היה 30 טון. כיום ניתן להכיל כוח חישוב מקביל במעגל שגודלו כקוביית סוכר.

במקביל ליישומם במערכות חישוב משמשים מעגלי המיקרואלקטרוניקה גם כזיכרונות האוגרים את המידע הספרתי לפני עיבודו במחשב ואחריו. כיום יש בידינו מיקרופרוססורים הכוללים 65,000 שערים לוגיים וכן זיכרונות גישה אקראית היכולים לאחסן מאות אלפי ספרות בינאריות (סיביות) — גם הן במעגל מוכלל ועיר קמדים. ציור מס' 2 מציג את ההתפתחות במספר השערים הלוגיים לפיסה יחד עם הירידה בעלות כל שער. מ-1959 ועד 1980 עלתה צפיפות השערים לפיסה יותר מפי עשרה בכל חמש שנים וכיום כבר מגיעים לחסם פיזי בייצור הפיסות,



ציור 1 — תחומים טכנולוגיים וטכנולוגיות לשליטה, בקרה, תקשורת ומודיעין.

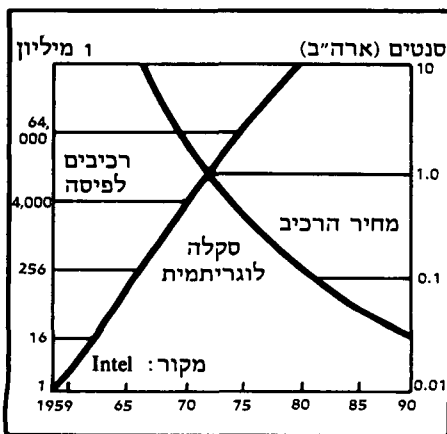
ראוי לציין כי מחקר שנערך ע"י משרד ההגנה האמריקני מלמד כי בתקופת חיים של 20 שנה עבור 24 אלף מודולים של מכשירי קשר צבאיים ניתן להגיע לחיסכון של 400 מיליון דולר לסוללות בלבד ע"י שימוש בטכנולוגיה יותר מודרנית במעגלי המיקרואלקטרוניקה.

אחד המדדים לכיצועיה של מערכת אלקטרונית הוא "קצב העברה" (throughput) שלה, שהוא מכפלה של מספר השערים בפיסה כפול תדר השעון (clock rate). כלומר הזמן להעביר רת אות. למיקרופרוססורים הקיימים יש קצב העברה של 10^{10} אך ליישומים של שליטה ובקרה דרוש קצב של 10^{13} ולעתים אף יותר גבוה. קצב זה מושג

המוכתב על-ידי אורך הגל של האור הנראה (כיוון שאת המסכות לייצור המעגלים מכינים בשיטות צילום). על-ידי מעבר לטכנולוגיות ייצור מתקדמות יותר ניתן יהיה להגיע בקרוב לצפיפות של 200,000 שערים בפיסה לוגית אחת ולמיליון סיביות בפיסת זיכרון ואולי אף ליותר מכך.

תכונה חשובה במיוחד במעגלים מיקרואלקטרוניים היא **כושר הביצוע** הנמדד במספר ההוראות המבוצעות בשנייה. מ-100,000 הוראות לשנייה ב-1965 מגיעים כיום כבר לכמה מיליון הוראות לשנייה במערכות צבאיות קרקעיות, וצפוי כי בשנים הבאות נגיע ל-25 מיליון הוראות לשנייה. כלומר שיפור של פי 250.

אחת התופעות האופייניות במיקרו-אלקטרוניקה היא העובדה כי יחד עם גידול מספר הרכיבים לפיסה, יורדת העלות לרכיב, כפי שאפשר לראות בציור מס' 2. מאז 1970 ועד היום ירדה העלות פי 100 וצפוי כי היא תקטן בסדר גודל נוסף עד 1990. חשובה במיוחד מבחינת המאפיינים הצבאיים היא הירידה לראות כי המעבר משפופרת הריק לטרנזיסטור גרם לקפיצה נחשונת באמינות (שלושה סדרי גודל — כלומר פי 1000) ואילו המעבר מטרנזיסטורים למעגלים מוכללים מגדיל את האמינות בשנים עד שלושה סדרי גודל נוספים. במקביל לכל אלה אנו עדים גם לירידה ניכרת בצריכת הספק שתגיע בין 1960 ל-1990 ליחס של 30 ל-1.



ציור 2 — ההתפתחות בצפיפות הפיסות ובמחיר כל שער.

למערכות מבוזרות, שבהן העיבוד נע-
 שה ע"י מספר מחשבים המחוברים יחד
 בקווי תקשורת. בצורה זו מתקבלים
 אמינות וזמינות גבוהים יותר, חלוקת
 עומס, תפוקה מוגברת, זמן תגובה מהיר
 ושיפור היכולת לעמידה בתקלות. ציור
 4 מציג את משמעותה של מערכת
 מבוזרת.

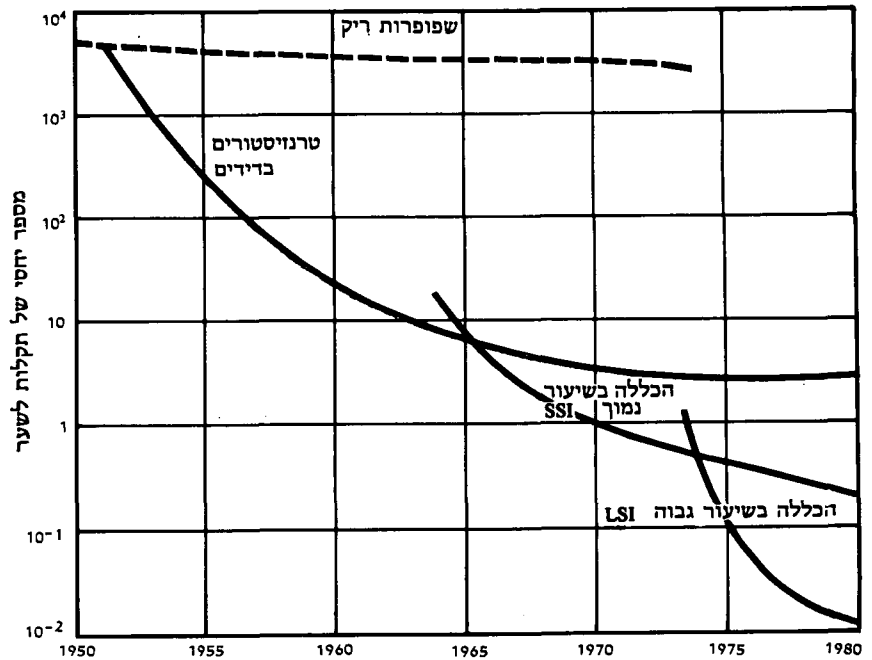
ככל שקטנה עלותם של המחשבים
 וכושר הביצוע שלהם גדל וכאשר יחד
 עם אלה גדלה הדרישה למערכות
 מבוזרות, אנו מגלים כי חלקה של
 התכנה בעלות מערך המחשוב הכולל
 הולך וגדל. במערכות מוטסות עלות
 התכנה כבר מגיעה ל-80% מהעלות
 הכוללת ואחוז זה אמור לגדול עוד יותר
 בעתיד, כפי שניתן לראות מציור 5.

יתרון של מערכות החישוב המבוז-
 רות בא לידי ביטוי בכך שהן יכולות
 להתאים עצמן לדרישותיו של כל
 מפקד. אין שני מפקדים שיש להם
 דרישות זהות למידע, לתצוגה או
 לעיבוד המידע, משום כך דרושה תכנה
 שניתן לשנותה ולהתאימה בקלות,
 בשדה הלחימה.

שיקול נוסף הוא עלות מחזור החיים
 כלומר עלות הרכישה בתוספת עלות
 התחזוקה במשך קיומה של המערכת.
 בעוד שעלות מחזור חיים של חמרה
 היא פי שנים לערך מעלות הרכישה הרי
 בתכנה עלות מחזור החיים היא פי
 חמישה יותר ממחיר התכנה הבסיסית.

סטנדרטיזציה בתכנה ובמשפחת מחשבים צבאיים

התחזית בדבר השימוש הגובר והולך
 במערכות מחשביות בשדה הקרב הע-
 ידרי ובדבר חלקה הגדל והולך של



ציור 3 - העלייה באמינותם של רכיבים אלקטרוניים.

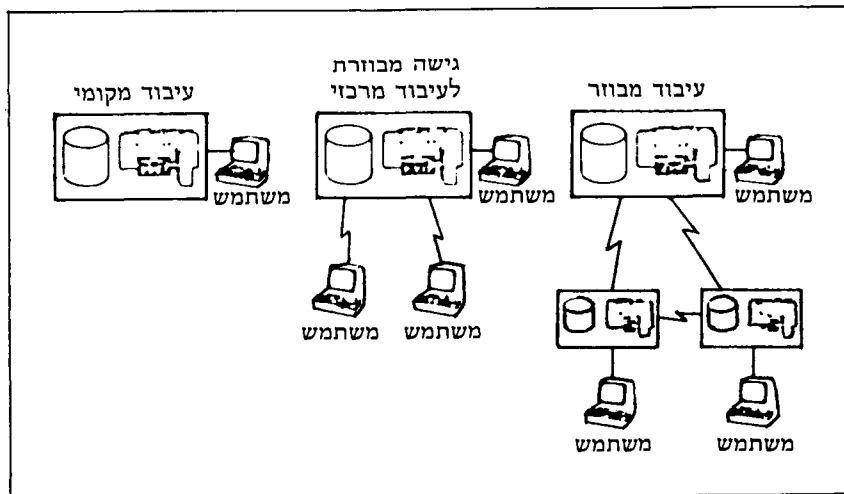
מעגלים בעלי קצב העברה של 5×10^{11} ,
 כשהרווחים בפיסה הם של 1.25 מיקר-
 רומטר, ובמקביל לבחון שיטות לצמצום
 הרווח לפחות ממיקרומטר אחד כדי
 להגיע לקצב העברה של 10^{13} . יש לציין
 כי בשיטות השרטוט המקובלות היינו
 נזקקים לגיליון נייר בגודל של כמה
 עשרות מטרים כדי לצייר את המעגל
 המקורי ואח"כ להקטינו פי 5000. מכאן
 שגם שיטות התיכנון - ולא רק
 טכנולוגיות הייצור - חייבות להיות
 שונות בתכלית.

אחת התוצאות החשובות של הזערת
 הרכיבים, הוולתם והגדלת אמינותם
 היא האפשרות לעבור מעיבוד מרכזי

כיום על-ידי שילוב של כמה פיסות. דבר
 זה מגדיל את מחירה של המערכת, את
 משקלה ואת צריכת ההספק שלה
 ומקטין את אמינותה עקב החיבורים
 הרבים הדרושים בין הפיסות.

קצב ההעברה נקבע על-ידי צפיפות
 הרכיבים בפיסה, כלומר על-ידי המרחק
 שבין שער לשער. בטכנולוגיה הנוכחית
 רווח זה הוא כחמישה מיקרומטר ואילו
 על-ידי מעבר לרווחים של מיקרומטר
 אחד או פחות ניתן להגיע לכך שמערכת
 ששוקלת כיום 1000 ק"ג וצורכת 100
 ואט תשקול רק 10 ק"ג ותצרוך ואט
 אחד בלבד. בתדר שעון של 25 מגהרץ
 יידרשו 400,000 שערים לפיסה כדי
 להגיע לקצב העברה של 10^{13} . לצורך
 זה דרושה פריצה טכנולוגית נוספת
 בתחום ייצורם של מעגלי המיקרו-
 אלקטרוניקה.

התכנית החשובה ביותר לפיתוח
 מעגלים מוכללים למערכות צבאיות
 היא תכנית Very High Speed Integrated
 Circuits (VHSIC), אשר בה ישקיע
 משרד ההגנה האמריקני יותר מ-200
 מיליון דולר במספר שלבים, ואשר
 לדברי מתכנניה עשויה לשנות כליל את
 הגישה לפיתוח מערכות אלקטרוניות
 צבאיות בשנות ה-80 ולסייע לארה"ב
 לשמור על בכורתה הטכנולוגית בתחום
 המוליכים למחצה. התכנית כולה החלה
 בשנת 1980 ועתידה להסתיים בשנת
 1986. בשלב הראשון מתכננים המתכנ-
 נים להגיע בשנת 1984 לייצור דגמים של



ציור 4 - ביזור מערכת מחשבית.

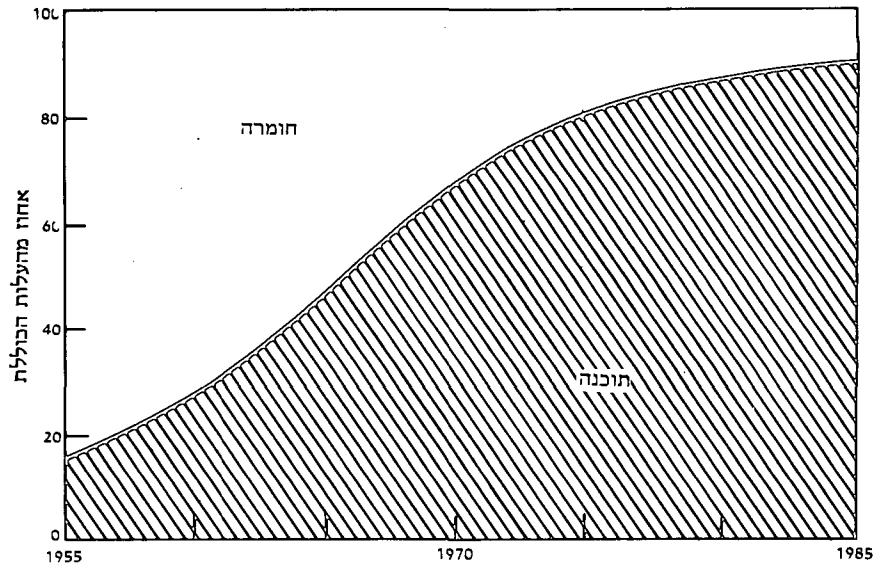
המעבר מסוגים רבים של מחשבים למספר מוגבל של סוגים סטנדרטיים יפשט במידה ניכרת את הסיוע הלוגיסטי. היה מי שחישב כי רק בתחום הלוגיסטי של המחשבים בצבא היבשה יחסכו בדרך זו למעלה מ-4 מיליארד דולר בין 1981 לשנת 2000.

גלים מוליטריים

בתחום התקשורת האלקטרומגנטית, מחייבת הכמות העצומה של המידע שיש להעביר בעת ובעונה אחת רחבי פס גדולים יותר ואלה מצויים בעיקר בקצה העליון של הספקטרום. אולם כאן אנו נתקלים בבעיות חמורות של התפשטות גלים. התחום המתאים לתקשורת ברחבי פס גדולים הוא תחום הגלים המילימטריים — 30 עד 300 גיגהרץ. כפי שאפשר לראות בציור 6, בתחום זה הניחות גבוה בדרך כלל, אך קיימים "חלונות" בהם הניחות נמוך יותר, המצויים בעיקר ב-35, 94, 140, ו-220 גיגהרץ. במקרים מסוימים — כמו קשר חסין לטווחים קצרים — אנו מעוניינים דווקא בתחום בליעה כמו זה של 60 גה"צ. תחום הגמ"מ בא לידי ביטוי רק בשנים האחרונות כתוצאה משילוב ההתפתחויות הטכנולוגיות והצרכים הגדלים והולכים.

רוחב הפס שניתן להשיג מגיע לכ-10% מהתדר, כלומר ב-100 גה"צ ניתן להשיג רוחב פס של 10 גה"צ בעורק אחד שהוא שווה פי עשרה מכל תחומי התדרים של הת"ג, התג"מ והתא"ג ביחד.

הבעיה העיקרית ביישומי תחום הגמ"מ היא ייצור מקורות הספק העומדים במפרטים צבאיים ושהם בעלי הספק גבוה יחסית. כיום ניתן כבר להגיע



ציור 6 — החלוקה בעלות בין תכנה לחומרה במערכות מוטעות.

להשלים את הפיתוח. הספקת המחשבים צפויה, כאמור, בשנת 1986. החברות נדרשו לפתח שני סוגי מחשבים:

- א. מיני מחשב גדול (Supper Mini-computer), שכינויו AN-UYK-41.
- ב. מיקרומחשב עצמאי (Stand-alone), שכינויו AN-UYK-49.

כמו כן יתוכננו רכיבים סטנדרטיים, שיתאימו להכללה למערכות משובצות מחשב. רכיבים סטנדרטיים אלה כוללים: מחשב בכרטיס אחד (Single Board Computer), שיהיה גם חלק מה-AN/UYK-49; מיקרומחשב לטיל שישתמש במעגלים מוכללים של המיקרו-מחשב AN/UYK-49; שתי מערכות של מעגלים מוכללים (chip sets).

תכונותיהם העיקריות של שני מחשבי MCF ושל המחשב בכרטיס אחד מפורטות בטבלה שלהלן:

התחזוקה בעלות הכוללת של מערכות מחשביות, מצביעה על צורך רחוק בסטנדרטיזציה של המערכות הממוחשבות. צבא היבשה של ארה"ב בדק ומצא כי בשנת 1981 נכללו 50 סוגים שונים של מחשבים ב-65 מערכות אוטומטיות לשרדה הקרב שכבר נמצאות בשימוש כיום או עתידות להיכנס לשימוש עד 1983. ברור כי מצב זה עלול להחמיר משנה לשנה. על כן ננקטו מספר אמצעים לסטנדרטיזציה של תכנה וחומרה כאחד. ביולי 1980 פורסמה בצבא ארה"ב פקודת מדיניות (AR-1000-1) אשר קבעה כי כל פיתוחי התכנה, אשר יוכנסו לפעולה החל מינואר 1983, יתבססו על שפת התכנות ADA, אשר פותחה ע"י משרד ההגנה האמריקאי ועל מכלול הפקודות Nebula, אשר פותח גם הוא עבור צבא ארה"ב. שפת ADA תוכננה כך שתאפשר אחזקה קלה יחסית, אפשרות נוחה לבריקת הפקודות ואפשרות להעביר תכניות בין מחשבים מסוגים שונים.

באותה הוראת מדיניות נקבע כי החל משנת 1983 יתבסס כל פיתוח הכולל מערכת ממוחשבת בכל זרועות צבא ארה"ב על משפחת המחשבים הצבאיים (Military Computer Family — MCF) ועל מכלול הפקודות Nebula.

הפרויקט לפיתוח משפחת מחשבים צבאיים נועד להימשך מ-1981 ועד 1986 כאשר הכוונה שהמוצר הסופי ייבנה בטכנולוגיות של תחילת 1984. דגמים ראשונים (שהוזמנו מארבע חברות) יסופקו לפי התכנית בינואר 1983, ולאחר מכן תוזמנה שתיים מן החברות

תכונותיהם העיקריות של שני מחשבי MCF ושל המחשב בכרטיס אחד

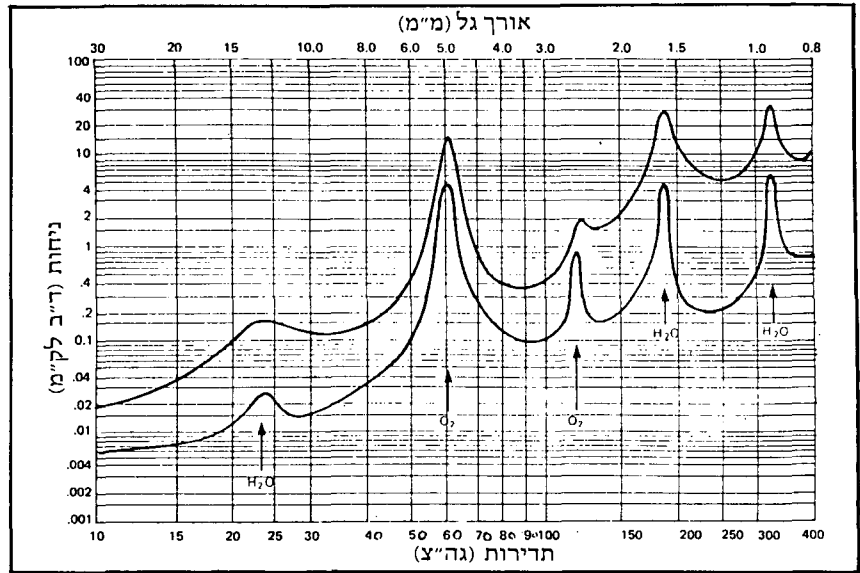
מחשב בכרטיס	מיקרו-מחשב	מיני-מחשב	יחידות	תכונה
—	AN-UYK-49	AN/UYK-41	—	כינוי
0.5 מיליון אלף 128 אלפים 5 אלפים 100,000	0.5 מיליון 1 מיליון 25 אלף 33,000	3 מיליון 2 מיליון 75 אלף 10,000	פקודות לשניה בתים (bytes) דולר שעות ווט רגל מעוקב (Cu.ft) ק"ג	מהירות ביצוע זכרון מחיר מטרה זמב"ת (MTBF) הספק נצרך נפח משקל
5 0.02 0.35	20 0.12 5	100 0.52 20		

לנושא השרידות. כדי לאפשר העברת מספר רב של אפיקים בין שתי נקודות אנו זקוקים לקשר בתדרים גבוהים יותר ואלה מחייבים קו ראייה או ממסר. לוויין תקשורת הוא ממסר בעל שרירות גבוהה. על פי התכנון האמריקני תופעל משפחת תחנות קצה קרקעיות חד-אפיקיות אשר יאפשרו העברת נתונים ב-2400 סיביות לשנייה וכן אפיק דיבור אחד בין מוצבי פיקוד ניידים קדמיים למפקדות. מערכות אלו יעבדו בתא"ג, ב-SHF (3-30 גה"צ), או ב-EHF (30-300 גה"צ) כשהנטייה היא בעיקר לתחום אחרון זה. תקשורת לוויינים רציפה לשרה הקרב מחייבת שימוש בלוויין גיאוסטציונרי (החג בגובה 36,800 ק"מ). אחד הקשיים המייקר את לווייני התקשורת הוא התקן השילוח, אך נראה שעם הפעלת רכב החלל מסוג shuttle תוקל גם בעיית הכנסת לוויין כזה למסלול.

יש לציין כי תחנת קרקע צבאית חד-אפיקית ניתנת להובלה רגלית ע"י צוות של שלושה חיילים (ציור 8) ותחנה משוכללת יותר ניתנת להובלה על גבי נגרר. ראוי להזכיר שארצות ערב עומדות לשלוח שני לוויינים לקשר בין מדינות ערב תוך השנתיים הקרובות (ARABSAT) ואין ספק שאלה ישמשו גם לתקשורת צבאית. (אחת הדרישות במפרט היא שהלוויין יהיה חסין לחסימות).

אנטנות

צריכת הספק גבוהה היא אחת המגב-לות להפעלת מערכות שליטה, בקרה ותקשורת. אחת הדרכים להתגבר על מגבלת ההספק הנדרש היא לשפר את האנטנה. דבר זה חשוב מאוד בקשר לוויינים, כאשר הכוונה היא לרכז כמות הספק מכסימלית בשידור אל הלוויין ו"לדלות" אות חזק ככל האפשר בקליטה מן הלוויין. אלומה מתבררת פחות היא גם חסויה יותר להאזנה או לחסימה. ניתן להשיג אלומה צרה יותר ע"י הקטנת אורך הגל (דבר המתקבל למשל במעבר לגלים מילימטריים) או ע"י הגדלת האנטנה. הגדלת האנטנה לא חייבת להתבצע באופן פיזי אלא ניתן להשיג אנטנה אפקטיבית גדולה יותר כאשר כיוון האלומה שלה נשלט אלקטרונית ע"י קביעת הפרשי המופע של מרכיבי האנטנה. זוהי האנטנה המוכוונת אלקטרונית (Phased array). דוגמה של אנטנה המשמשת לקשר עם לוויינים נתונה בציור 9.

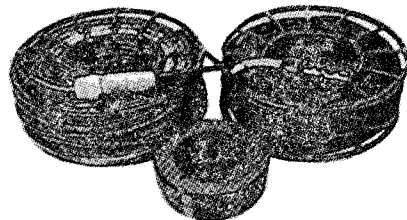


ציור 6 — תחום הגלים המילימטריים.

להם יישומים מעשיים ככבל מחליף לכבל 26 זוג (ראה ציור מס' 7) ולקשר אפיקי לטווחים ארוכים. היישום של כבל 26 זוג הוא ישן יחסית. היישום לתקשורת ארוכת טווח יאפשר להעביר אותות ספרתיים בקצב של 20 מיליון סיביות לשנייה לטווח של 8 ק"מ ללא מהדרים במחצית העלות ורבע המשקל של מערכת כבל קואקסילי (כה דרושים 19 מהדרים). לטווח של 64 ק"מ יידרשו 7 מהדרים (לעומת 39 עם כבל קואקסילי). העלות תקטן ל-2/3 והמשקל ל-1/4. אחת הבעיות שטרם נפתרה באופן מלא היא נושא חיבורי הכבלים. בשלב זה אין טכנולוגיות יעילות לביצוע חיבור כזה בשדה אלא ע"י מחברים כאשר פני הסיב צריכים להתאים הן מבחינה צירית והן מבחינת ניקיון פני הסיב. יש לזכור שהגרעין האופטי הוא בעל ממדים הדומים לאלה של שערה ועל כן מושקע מאמץ ניכר בפיתוח מחברים ליישומים צבאיים.

תקשורת לוויינים

בנוסף לבעיית נפח התקשורת והצפיפות בספקטרום קיימת בתקשורת צבאית בעיית הממסר שהיא קשורה



ציור 7 — כבל 26 זוג מסיבים אופטיים ליד גלילי כבל נחושת באותו אורך.

בעולם למקורות מצב מוצק של עד 100 ואת (במספר דרגות הגברה) בתדר של 94 גה"צ. השפופרות השימושיות הן שפופרת הגל הנע והמגנטרון שבהן ניתן להגיע להספקים של 10 קילוואט בתחום 35 גה"צ וקילוואט אחד ב-100 גה"צ. באחרונה מוקדש בעולם מאמץ פיתוח (במזרח ובמערב) לשפופרת מסוג גיי-רוטרון וכבר יש בשוק שפופרות ב-28 גה"צ בהספק ממוצע של 30 קילוואט ובשנת 1983 עתידות לצאת לשוק שפופרות של 200 קילוואט (CW) ב-60 גה"צ ושל 50 קילוואט (הספק שיא) ב-95 גה"צ.

במקביל קיימת פעילות לפיתוח רכיבי תמסורת בתחום הגמ"מ.

בתחום מערכות תקשורת בגמ"מ הפעילות המוכרת ביותר היא של חברת MORRDEN, אשר פיתחה בארה"ב מקמ"שים לתחום 36-38 גה"צ (לטווח עד 40 ק"מ) ומקמ"ש לטווח קצר בתחום 60 גה"צ (לטווח 2 ק"מ).

סיבים אופטיים

התפתחויות טכנולוגיות שחלו לאחרונה בתחום הייצור של סיבים אופטיים בעלי ניחות נמוך מאפשרים כיום לממש את יישומם במערכות אורחיות וצבאיות. השימוש בסיבים אופטיים עונה לדרישות של רוחב פס, משקל נמוך, ערב דיבור אפסי, סודיות תמסורת גבוהה יחד עם עמידות כנגד דופק אלקטרו-מגנטי.

בנוסף ליישומים המקומיים של סיבים אופטיים בתוך מפקדות, בין מערכות מחשבים ולמערכות נשק הרי צפויים

מיתוג בריבוב זמן (Time Division)

(Multiplexing)

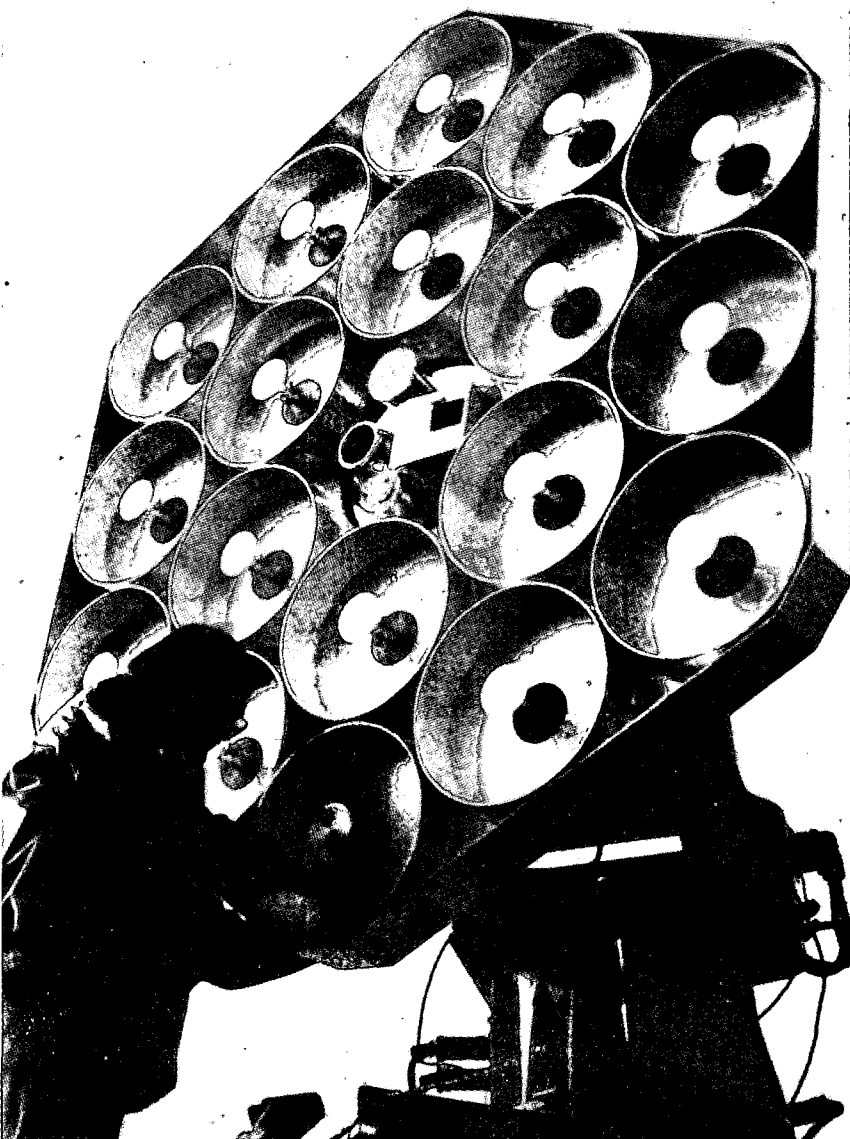
אחד המאפיינים של מערכות תקשורת מודרניות הוא המעבר מתקשורת אנלוגית (שבה האות מועבר בצורתו המקורית) לתקשורת ספרתית. בתקשורת ספרתית האות האנלוגי — המבוטא ע"י רמות תנופה משתנות בתדרים השונים — עובר פעולת קידוד ההופכת אותו לסדרה של דפקים בינאריים — אשר יחד מבטאים את תנופתו המקורית. פעילות הקידוד מוסברת בציור 10. הקידוד הספרתי מאפשר גם לנצל אפיק תמסורת להעברת מספר שיחות במקביל כשכל אחת מהן מנצלת חלק מזמן התמסורת. בעבר נעשה רוב המיתוג של שיחות בשיטת המיתוג במרחב שבה מערכת המיתוג יצרה חיבור פיזי בין המעגל המשדר למעגל הקולט. עם המעבר לתמסורת ספרתית ניתן לעבור גם למיתוג במישור הזמן שבו הקשר אינו רציף אלא רק לאותם פרקי זמן שבהם המידע הרלוונטי מועבר.

תוצר נוסף הנובע מריבוב בזמן הוא האפשרות לשלב יחדיו דיבור ונתונים ולהעבירם במעגלים משותפים. במקרים אלה מתבצע לעתים המיתוג בצורת "מיתוג חפיסות" (Packet Switching). שבו מועברת בכל פעם חפיסה של אותות ספרתיים מהתחנה השולחת לתחנה המקבלת ובתחנה המקבלת משוחזר רצף החפיסות לאותות המקוריים (דיבור או נתונים) אשר הופקו בתחנה השולחת. כיוון שפעילויות המיתוג נעשות בפרקי זמן קצרים ביותר הרי שלמשווחים יש הרגשה של דיבור רצוף למרות פעילויות הקידוד וההעברה בחפיסות של האותות.

המעבר לתקשורת ספרתית מקל גם על הצפנת האותות וכן על שימוש בטכנולוגיות של "ספקטרום מרווח" או "קפיצת תדר" בהן התמסורת ברדיו מתבצעת באמצעות מגוון של תדרים שלאויב קשה לעקוב אחריהם ולחסום אותם בצורה יעילה. אחת ממערכות השליטה והבקרה המפותחת ע"י צבא ארה"ב — Joint Tactical Information Distribution System — JTIDS מוצגת בציור 11. מערכת זו משלבת ריבוב בחלוקת זמן עם שיטה של ריבוי-גישה, (Time Division Multiple Access — TDMA). שבה נקבע לכל משרד מקטע זמן להעברת אותות שלו ואילו כל מקלט יכול לקלוט אותות אלה (אך יוכל לפענחם רק אם נמסר לו הקוד

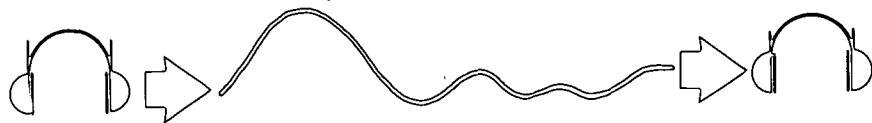


ציור 8 — תחנת קשר ללוויינים המובלת ע"י 3 חיילים.



ציור 9 — אנטנה לקשר נייר באמצעות לוויינים.

תמסורת אותות שמע תקביליים



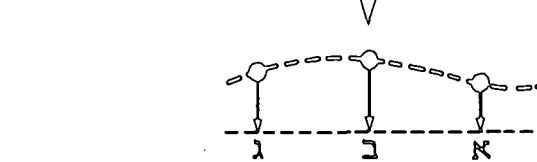
אלקטרומוגנטיים. אם לאלקטרודות המ-
בוא יש מבנה בעל צורה נתונה
המותאמת לקוד שבו שודר האות הרי
שאות רצוי יוגבר בהן והוא שיעבור אל
אלקטרודות המוצא בעוד יתר האותות
לא יופקו באותה עצמה.

קיימות מספר טכנולוגיות נוספות
לזיהוי אות רצוי מתוך סדרת אותות
כגון קונוולבר או התקני גלי ספין אך
בכולן המטרה היא זהה: הפקת האות
הרצוי מתוך הרעש.

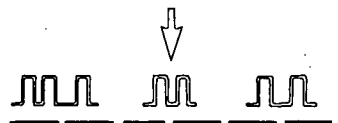
תמסורת אותות שמע באפנון דופק מקודר



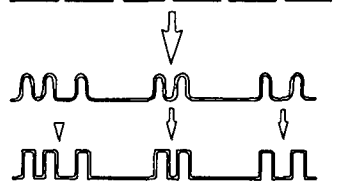
אות שמע רגיל



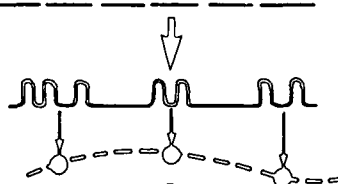
עובר תהליך דגימה
8000 פעם בשנייה



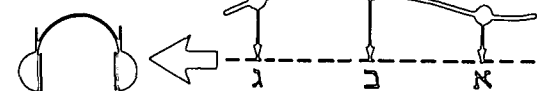
הדגמים מקודדים לרפקים
ונשדרים לעורך



צורת הרפקים נוטה להישחת
ועל כן מתקנים מהדירים
המגלים את הרפקים ומשחזרים
את צורתם



במקלט מגלים את הרפקים,
מפענחים אותם



ומשחזרים את אותות השמע
המקוריים

ציור 10 - קידוד ספרתי של אות תקבילי.

תצוגה

המיקרואלקטרוניקה אפשרה לנו להור-
עיר את המעגלים והמעבר לתדרים
גבוהים ולסיכים אופטיים מאפשר לנו
להעביר כמויות מידע עצומות באפי-
קים. אחת המגבלות שנתרו בפנינו היא
בעיית תצוגת המידע. כאן אנו עדיין
"שבויים" בידי שפופרת הקרן הקתודית
הנמצאת בשימוש מזה למעלה מ-100 שנים.

הטכנולוגיה המובילה בתחום של
מצגים שטוחים בעלי שטח רחב היא
מצגי פלסמה בזרם חלופין. המצג הגדול
ביותר שפותח למטרות צבאיות הוא
בעל 24 אינץש באלכסון (כמו מרקע
טלביזיה ביתי) ויכול להציג 21 אלף
סימנים באמצעות מטריצה בעלת 1024
אלמנטים.

צג הפלסמה בנוי משני לוחות זכוכית
מקבילים שעליהם מודפסות האלקטרו-
דות - על אחד הלוחות בצורת
מקבילים אופקיים ועל השני במקבילים
אנכיים. נקודות הרשת הנוצרות על ידי
האלקטרודות מגדירות את נקודות
התצוגה על המסך. שכבת זכוכית
דיאלקטרית המצופה בתחמוצת מגנזיום
מכסה את האלקטרודות, ותערובת של
ניאון וקסנון (או ניאון וארגון) ממלאה
את המרווח בין הלוחות בלחץ של $1-1/2$
אטמוספירה. לצגים הקיימים כיום
בשוק רשת של 512×512 אלקטרודות
המגדירות 262,144 נקודות מסך. רשת
כזאת דורשת 1024 קווי הפעלה הפוע-
לים במתח של כ-100 וולט. מתח AC
קבוע ברמה נמוכה מרמת ההצתה של
הפלסמה מקיים את התצוגה על המסך
ללא צורך ברענון. כאשר דופק מתח
מועבר בשתי אלקטרודות מצטלבות,
אזי בנקודות ההצטלבות סכום המתח
הקבוע ומתח הדפקים מיונן את הגו
ונוצרת זהירות פלסמה נקודתית. המטען
החשמלי שהשתחרר ביוניזציה נצמד
לזכוכית הדיאלקטרית. מחיקת נקודה
מהמסך נעשית בצורה דימה אלא

ציא אות מרעש או כדי לגלות אות
ששודר בדרך מקודדת אנו נעזרים
בטכנולוגיית גלי השטח האקוסטיים
(surface acoustic waves). הכוונה היא
לקלוט אות אלקטרומוגנטי במבוא של
משטח מלוטש של חומר פיזואלקטרי,
להפוך את האנרגיה לאנרגיה של גלי
קול (המתקדמים ב-3000 מטרים לשנייה
במקום מהירות הגל האלקטרומוגנטי
שהיא 300,000 ק"מ לשנייה) ותוך
הרצויים ולהפיק אותם שוב כאותות

המתאים) אם יסתנכרן למועד השידור
של המקור הדרוש. בסיוע מגוון נרחב
של ממטרים אמורה מערכת JTIDS
לאפשר הקמת מערכת תקשורת, ניווט
וזיהוי בין זרועית משולבת.

גלי שטח אקוסטיים

ככל שמערכות התקשורת הופכות
מסובכות יותר אנו מנסים לנצל את
מלוא הספקטרום ויחד עם זאת להצפין
את האותות, למשל ע"י שידורים
בשיטת הספקטרום המפוזר. כדי להור-

סיכום: היחזיק המשטר מעמד?

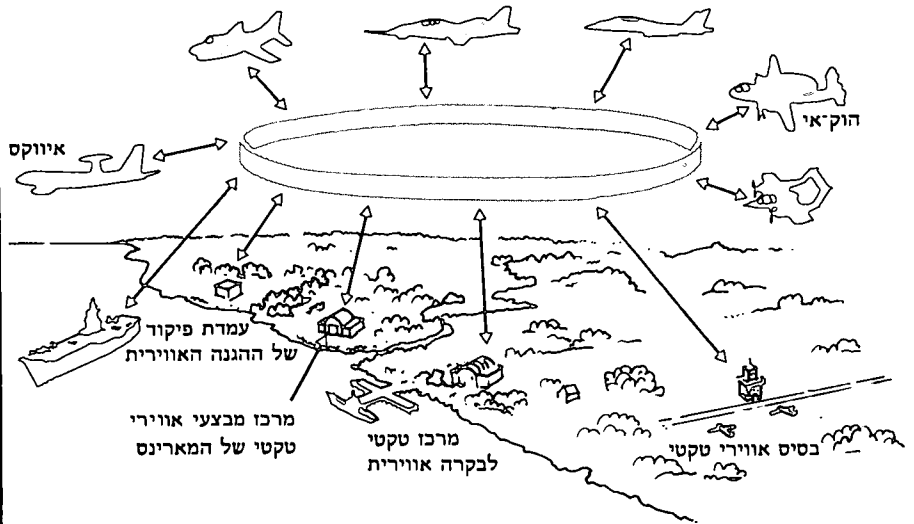
כאשר ניגשים להעריך את סיכויי אסד להחזיק מעמד, יש המסתכלים על חצי הכוס הריקה, היינו על הפעילות האלימה מבית נגד משטרו במשך כחמש שנים, ומקישים מכך, כי המשטר נחלש עד לנקודה שהתמוטטותו קרובה. דומני, שיש להתרשם דווקא מהחצי המלא של הכוס: יכולתו של המשטר לשרוד עד כה, אחרי חמש שנים רצופות של עוינות מבית ולחצים מחוץ, מוכיחה את חוסנו הבסיסי.

ואמנם, בסקטור האזרחי דומה שהמשטר יכול עדיין להישען על תמיכת עדות מיעוט שונות ושכבות חברתיות מסוימות, שחרדות מפני ערעור הסטאטוס-קוו שחושל ובוצר בימי אסד. אך חשוב הרבה יותר, שצבא סוריה ומנגנוני הביטחון שלה עדיין תומכים במשטר. בהיעדר כוח צבאי שקול לכוחו של אסד אין בידי האופוזיציה סיכוי למוטט את המשטר בעתיד הנראה לעין. צמרת הצבא, כולל הקצינים הסוניים, הלכו עם אסד ככרת דרך ארוכה מדי, שבה נשפך דם רב מדי, מכדי שהשורות תיפרדנה עתה. מלבד אסד, אין כיום איש בצמרת שיכול לטעון למידה כלשהי של לגיטימיות ציבורית, שעשויה להכשיר אותו להיות מנהיג במקומו. מנגד, דווקא עובדה זאת היא נקודת חולשה: אם יירצח אסד או יוסט מהמסילה בדרך כלשהי — לא תהיה כל לגיטימציה ציבורית למשטר הקיים.

קיימת גם אפשרות של העמקת סכסוכים קיימים מכבר בצמרת שמסביב לאסד, וכך יוחלש הליכוד הפנימי המופלא של ההנהגה הסורית ב-11 השנים האחרונות. ואמנם, עקב העצבנות שחש המשטר לנוכח מתקפת הטרור הנמשכת, כבר הודחו מספר קצינים ופונקציונרים בכירים מווחקי נאמניו של אסד. די אם נזכיר את שמוותיהם של עלי זאזא, נגי ג'מיל, עלי אל מדני ואחרים.

אפשרות נוספת, שממעים לרוב בה, אך יש לה מידת סכירות מסוימת אם גם נמוכה, היא האפשרות שדווקא בעדה העלווית יצוץ אינטרס בהפלת המשטר על-ידי העלווים עצמם, מחשש שאם לא יעשה כן, והמשטר בכל זאת יופל, ינקמו הסונים נקמת-דמים היסטורית בעדה העלווית. מדי פעם מופיעים בעיתונות לבנון רמזים לכך, שדיבורים על אפשרות זאת אכן נשמעים.

שקלול כולל של הגורמים הפועלים בזירה הסורית מורה בכל זאת, שהכף עדיין נוטה לזכותו של המשטר וההזנחה ההיסטורית של הצבא הסורי על-ידי העדה הסונית, מהווה עתה גורם מכריע בקביעת ההתפתחויות בסוריה.



צילום 11 — מערכת JTIDS

שליטתו על כוחותיו בתנאי הלחימה המשתנים.

ההתפתחויות הטכנולוגיות שחלו במחצית השנייה של המאה העשרים מאפשרות לנו כיום לספק את האמצעים הדרושים לצרכי שליטה, בקרה, תקשורת ומודיעין בשדה הקרב המודרני. בידינו האמצעים — תחומי תדרים חדשים נפתחים לתקשורת רדיו, לווייני תקשורת מאפשרים כיסוי שטחים נרחבים ואילו הסיבים האופטיים פותחים פתח להעברת רחבי פס ניכרים לטווחים ארוכים בתקשורת קווית.

השילוב בין תקשורת ומחשוב מאפשר שילוב דיבור ומידע ספרתי, עיבוד מהיר ומבוזר של המידע וחלוקתו ב"זמן אמיתי" לאלה אשר צריכים להשתמש בו לניהול הלחימה. בשנים הקרובות נהיה עדים ליישום חלק נכבד של הטכנולוגיות החדשות לאמצעים אשר יכנסו לפעילות מבצעית במחצית השנייה של העשור. מידת ההצלחה של יישומים אלה מותנית במידה ניכרת במעורבותם של הגורמים המבצעיים באפיון הדרושות. המדענים והמהנדסים קידמו את הטכנולוגיה לשלב שבו היא יכולה להיענות למגוון נרחב של דרישות. ניצולה של הטכנולוגיה החדשה לסייע יעיל בשדה הלחימה מותנה בהגדרת הדרושות ע"י המפקדים ובמידה בה ישתתפו המפקדים בגיבוש המוצר הסופי אשר יצא מתחת ידי המפתחים.

שכעת מכוונים את מופע הדופק בניגוד למופע מתח החלופין הקבוע וכך הירידה הרגעית במתח משחררת את המטען שנצבר על הזכוכית הדיאלקטית רית ומצב היוניציה מתבטל בנקודת הרשת המתאימה. תדר ז"ח של 50 קה"צ מאפשר מהירות רישום של 20 מיקרושנייה לנקודה. מאחר שהפלסמה שקופה אפשר להקרין דרכה תמונה ממקור אופטי — שיקופית או סרט או מיקרופילם — וכך לשלב תצוגת מחשב בתצוגה אופטית. טכנולוגיה נוספת הנראית כמבטיחה היא אלקטרולומינסצנציה. צבא ארה"ב עוסק בפיתוח של משפחת מצגים נישאים אלפאנומריים שתבוסס על אלקטרולומינסצנציה עם כוונה להוסיף גם צבעים שונים לתצוגה.

סיכום

שדה הקרב העתידי יהיה רווי אמצעי לחימה מתוחכמים ויצטיין בניידות הכוחות ובכושר פגיעה מדויק של האמל"ח. ניצחון בקרב — במיוחד כנגד אויב בעל עליונות כמותית — יהיה מותנה במידה ניכרת בניצול יעיל של אמצעי השליטה, הבקרה, התקשורת והמודיעין. הפעלה מושכלת של אמצעי לחימה מתוחכמים תחייב תפעול נכון של חישנים אוטומטיים, ניתוח מהיר ונכון של נתוני מודיעין ושימוש יעיל באמצעי לוחמה אלקטרונית. מעל כל אלה יידרש תיאום מלא בין הכוחות הלוחמים ורק באמצעות תקשורת בטוחה וזמינה ניתן יהיה למפקד לקיים את