



# ממשקי אדם-מחשב של מערכות לחימה - התפתחויות ותחזיות

מחשבים המשדרים מידע חזותי ישירות לרשתית העין ושמבינים את השפה הטבעית שלנו הם פיתוחים שכבר מזמן אינם שייכים לתחום המדע הבדיוני ושעתידים לשנות את הדרך שבה אנו נלחמים

## סאל ד"ר שמואל ארוס

התפתחות ממשקי התפעול - עבר הווה ועתיד

ברבע האחרון של המאה ה-20 התרחשה מהפכת פיתוח מדהימה בהיקפה בתחום המחשב. המחשב הגדיל את עוצמתו ליחידת נפח וליחידת מחיר בשיעור ניכר מדי שנה, ועקב כך הבשילו כל שנה יישומים חדשים, שעשו שימוש בעוצמות מחשב הולכות וגדלות. גם ממשקי התפעול של המערכות משובצות המחשב התפתחו כדי להפוך את עוצמת המחשב לזמינה למשתמש ולאפשר מיצוי של הפוטנציאל הטכני של המערכות. איך ייראו היישומים הממוחשבים הצבאיים, הצפויים להופיע במשך העשור הראשון של המאה ה-21 בשדה הקרבי? על כך אנסה לענות במאמר זה מזווית הראייה של הנדסת האנוש.

ראש תחום הנדסת אנוש  
בחיל הים



בד בבד עם התפתחות המערכות הממוחשבות חלה התקדמות בממשקי התפעול שלהן. ממשקים אלה שבין המפעיל למערכת, המזוהים לרוב עם המונחים MMI או HMI<sup>1</sup> השתנו מעט מאוד עד לשנות ה-70, והבסיס התורתי שעמד מאחוריהם התבסס בעיקר על עבודות של מהנדסי אנוש במהלך מלחמת העולם השנייה ובשנים שאחריה. אבל המיקרו-מעבדים והמיקרו-בקרים, שהוכנסו למערכות הלחימה מאז שנות ה-70, שינו מצב זה באופן משמעותי. עד לעידן המיקרו-בקרים הוקצה לכל פונקציית תפעול פקד, שהפעיל אותה באופן ישיר. באותו אופן היה לכל פריט מידע חיווי בצורת נורית או שעון. כיום, לעומת זאת, נהוג לעשות שימוש בפקדים מרובי פונקציות ובמסכים מרובי מידע. בשיטת הקשר הישיר בין הפקד לפונקציה נוצרה צפיפות גדולה של פקדים, ובשנות ה-60 וה-70 קל היה לפגוש מערכות, כגון מכיים ימי, המופעלות על-ידי יותר מ-100 פקדים. גם תאי

בתמונה למעלה: עיצוב ראשוני של קסדת טייסים עתידנית, שתציג ישירות לעיני הטייס את כל המידע הרלוונטי. הקסדה תחליף את רוב הצגים, שהיום אנו רגילים לראות בתא הטייס

טייס כוסו בפקדים ובשעונים ייעודיים – כמספר הפונקציות וכמספר פריטי המידע הנמסרים לטייס. עם זאת יש לציין כי הצפיפות לא יצרה בהכרח עומס תפעולי.

דווקא במערכות הדור השני של התפעול, המבוקרות באמצעות מחשב, קיים פוטנציאל גדול יותר לבעיות תפעול, וזאת בגלל העדר הקשר הישיר בין הפונקציה לפקד. כתוצאה ממחשוב המערכות והשתכללותן וכתוצאה מהאפשרות להתנתק מהקשר של אחד לאחד שבלוח הפקדים הייעודיים, גדל מאוד מספר הפונקציות התפעוליות של מערכת האמלי"ח. במערכות הלחימה הימיות ניתן בקלות למנות מאות – ובמקרים מסוימים אלפי – פונקציות תפעול למערכות יחידות. חלק גדול מהן משמש כבר לצורך בקרת פנים של המערכת עצמה. עם ריבוי (ולעיתים עודף) הפונקציות לכל פקד, המפעיל אינו רואה לפניו את מגוון אפשרויות התפעול והוא צריך לדלות אותן מזיכרונו. כאשר פקדים פיזיים מעטים מתפעלים פונקציות רבות, גם הזמינות של הפונקציות יורדת, ונדרש זמן ארוך יותר לביצוע. קושי נוסף נגרם כתוצאה מכך שבתנאים של ריבוי פונקציות לכל פקד לא קל לשמור על כללי ההתאמה בין סוג הפקד ועיצובו לבין הפעולות שהוא מבצע.

קיים פער בין קצב התפתחותן של המערכות עצמן לבין קצב התפתחות ה-HMI, שמפגר באופן קבוע אחר התקדמות המחשוב. כתוצאה מכך אנחנו נתקלים הן בשוק האזרחי והן בשוק הביטחוני במערכות עתירות פונקציות, אבל דלות מבחינה תפעולית. דוגמאות מאלפות לכך ניתן למצוא במכשירי הווידאו הביתיים, שהדלות התפעולית שלהם אינה תואמת את מגוון הפונקציות שהם מציעים. הצרכן הרגיל, שאינו שש להעמיס על זיכרונו פרטים מיותרים, מוצא את עצמו משתמש בחלק קטן מאוד מהאפשרויות שמציע המכשיר.

התפתחותן של מערכות עתירות אפשרויות תפעוליות הייתה הופכת את ה-HMI לצוואר הבקבוק של ביצועי המערכת, אילמלא נולדו שיטות וממשקים חסכוניים בשטח פיזי. השיטה שסגרה לזמן מה את הפער שיצר מחשוב המערכות היא הבחירה מתוך עץ תפריטים אלפא-נומריים ומילוי טפסים. השיטה שפותחה לאחר מכן, ואשר קלטה את הנפח העיקרי של ה-HMI, היא שיטת התפעול הישיר של יישויות גרפיות באמצעות מניפולציה ישירה, ובקיצור – תפעול גרפי. ממשק תפעול גרפי מאפשר לבחור, באמצעות הצבעה, מתוך מסך הכולל ייצוג גרפי של תחומי הפעילות של המערכת. השיטה מתבססת על מספר עקרונות ידיוותיים, כגון חיקוי פעולות טבעיות של המשתמש

בסביבה לא ממוחשבת (לגרור, לפתוח, לזרוק לפח וכד'), העיקרון של "מה שאתה רואה זה מה שאתה מקבל" ובעיקר על המשמעות המיוחדת שבארגון עולם התוכן באמצעות יחסים מרחביים: צורה, צבע ותנועה, הנתפסים הרבה יותר טוב מתיאורים

אלפא-נומריים ומאפשרים תפעול אינטואיטיבי וקל ללמידה.

שיטת התפעול הגרפי קיבלה דחיפה חזקה מממשקים אוניברסליים דוגמת מערכות ההפעלה של מחשבי ה"מקינטוש" ו"חלונות" בעולם ה-PC. ממשקים אלה מספקים מנגנונים גרפיים משוכללים, הזמינים לכל כותב אפליקציה. כפי שניתן להתרשם גם מהטבלה המסכמת,

בתקופה שקדמה למחשובן, היו מערכות האמלי"ח מתופעלות באמצעות מגוון של פקדים ישירים. אחר-כך נוסף למערכות משובצות המחשב תפעול באמצעות בחירה מתפריטים ומילוי טפסים ובהמשך גם תפעול באמצעות מניפולציה גרפית ישירה. ה-HMI של מערכות המחשוב האזרחיות עבר תהליך דומה: ממשק של שפות תכנות ופקודות טקסט דרך ממשקי הטפסים ועצי התפעול ועד לתפעול הגרפי המודרני. התפעול הגרפי, המערב גם בחירה מתפריטים ומילוי טפסים, הפך להיות ממשק אוניברסלי

### התפעול הגרפי, המערב גם בחירה מתפריטים ומילוי טפסים, הפך להיות ממשק אוניברסלי למערכות אזרחיות וצבאיות כאחת

#### התפתחות סוגים שונים של ממשקי אדם-מחשב

מערכות לא ממוחשבות	עד שנות ה-70	ריבוי פקדים, שעונים וחיוויים ייעודיים
דור א'	שנות ה-70	הוספת פקודות מקלדת, לחיצים מתוכנתים, צגים אלפא-נומריים
דור ב'	שנות ה-80	הוספת תפריטים וטפסים, תצוגות גרפיות (מאורגן)
דור ג'	שנות ה-90	הוספת תפעול יישויות (אינטואיטיבי)
דור ד'		ממשק אנתרופומורפי (טבעי)

למערכות אזרחיות וצבאיות כאחת. כללי התפעול הולכים ומתגבשים, ורמת האחידות עולה. מתכננים ותכנתים של מערכות אמלי"ח חדשות אכן עושים כיום שימוש באותם מנגנוני HMI מוכרים, שבהם התנסו במחשבים האישיים, והיכרות מוקדמת זו מהווה יתרון.

מחשב אישי עם סביבת חלונות מהווה בחירה טבעית לדרישות התפעול של מערכות רבות, ובשנים האחרונות אנו עדים לחדירת מחשבי ה-PC לצורך תפעול אמלי"ח ימי, יבשתי ואווירי. מגמת המזעור של מחשבי ה-PC, שאינה באה על חשבון כוח החישוב, היא בעלת משמעות רבה לפלטפורמות קטנות כמו רק"ם, מטוסי קרב וכלי שיט זעירים. המחשב האישי יכול לשרת אפילו חייל

מנגנון שיחליף את שיטת התפעול הגרפי.

אולם מה שנראה באופן בתחום ממשקי התפעול הוא דרמטי בפני עצמו.

בהמשך העשור הראשון של המאה ה-21 צפויות להבשיל כמה טכנולוגיות HMI מעניינות, שאת הניצנים שלהן אנחנו רואים כבר היום. הממשקים החדשים מתחילים להעביר אותנו מהדור השלישי של ממשקי התפעול לדור הרביעי, המכונה הממשק האנתרופומורפי, הכולל ממשקים טבעיים, כגון שפה טבעית. ניתן לחלק את הממשקים לשני סוגים: ממשק התצוגה מן המערכת אל המשתמש וממשקי התפעול מן המשתמש אל המערכת. הדיון בהמשך יתפצל לשני הסוגים האלה.

### פלט וממשקי תצוגה – תחזית

ערוץ המידע הוויזואלי הוא הערוץ בעל הקיבולת הגבוהה ביותר מן החושים אל המוח, ומכיוון שכך יהיה גם בעתיד, תמיד יהיה לו מעמד בכורה כערוץ ה-HMI המרכזי. בשנים האחרונות הייתה התפתחות מתמדת באיכויות של תצוגת המחשב, וניתן להסיק שאם התהליך יימשך, נגיע בעוד זמן מה לתחום הרזולוציות של מערכת הראייה שלנו, (וכאשר יקרה הדבר, לא יהיה טעם להמשיך לשפר בכיוון זה).

בשנים האחרונות ראינו שהתצוגות גדלות בשטחן תוך הקטנת ממדי הפיקסל הבודד. יש להניח שהמגמה תימשך, שכן הגדלת מספר הפיקסלים משמעה יותר אפשרויות להציג את המידע. מנקודת הראות של הנוסדס האנוש אכן רצוי שיימשך התהליך של הגדלת הצגים, כך שבתכונה של עמדת תפעול ותצוגה יוכתב שטח התצוגה רק על-ידי מגבלות המרחב. כבר היום מספקות תצוגות שטוחות במבחר גדלים גמישות רבת ערך בסידור עמודות עבודה, אבל מכיוון שקיימת בדרך-כלל סתירה בין דרישות גודל התצוגה לבין מגבלות המרחב, לא תמיד ניתן לספק תצוגות בגודל הרצוי. אמצעי אשר פורץ את מגבלות הגודל הפיזי של תצוגות המחשב הוא תצוגת הראש.

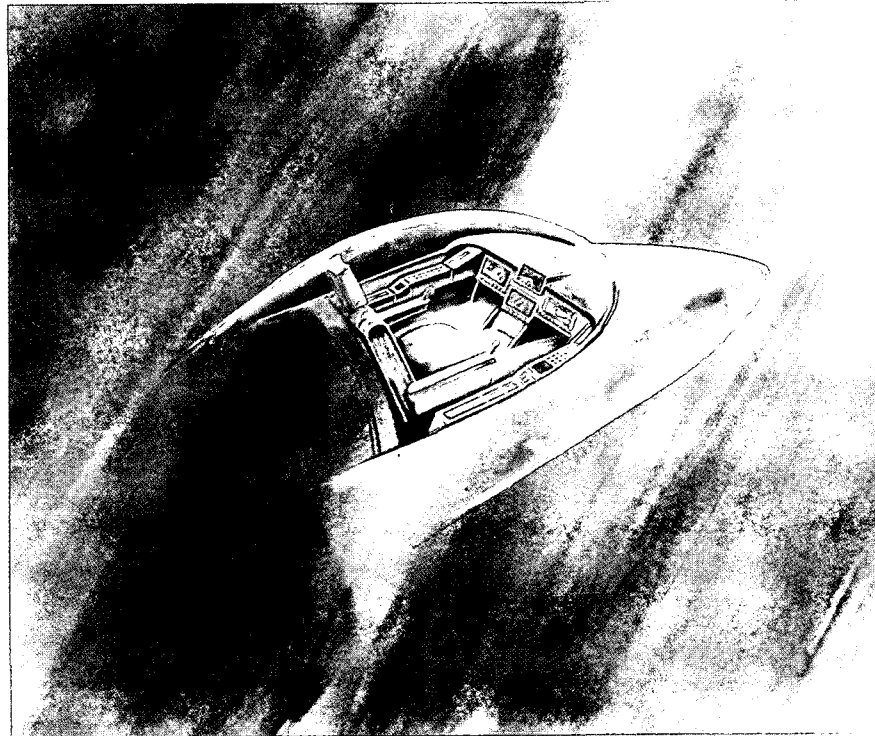
### תצוגות ראש זעירות

אחת ההתפתחויות המשמעותיות ביותר בתחום ממשקי התצוגה בשנים האחרונות היא טכנולוגיית התצוגות הזעירות, המוצמדות לראש או לקסדה, ומאפשרות ראייה של הצג באמצעות עינית קטנה, בדומה לעינית של מצלמת הווידאו. העינית מגדילה את הצג הזעיר ומשליכה את מוקד התמונה למרחק מסוים או לאינסוף, כך שלמרות הקרבה הגדולה של הצג לעין הוא נראה כתצוגה גדולה ומרוחקת.

לטכנולוגיות תצוגות הראש צפוי עתיד מבטיח, מפני שהן מסוגלות לענות בו זמנית על כמה צרכים:

א. התצוגה מאפשרת, עקרונית, למלא זווית ראייה גדולה מאוד, ובכך היא למעשה אנלוגית לצג היקפי רחב מאוד – יותר מהתצוגות הקונוונציונליות.

ב. התצוגה קטנה, קלה וניידת. היא מאפשרת בכך לנצל את מזעור מחשבי ה-PC "הלבישים" או לספק תצוגה מלאה



ציור של תא טייס חדשני, שבו מערכת על אחת מחליפה את גודש הצגים, שניצבים כיום לנגד עיניו של הטייס

רגלים בשדה הקרב, וזאת באמצעות ה-PC הנייד – המחייב עבודה בעמדה ניחת או על גבי רכב – או באמצעות ה-PC הלבביש, שמשאיר את ידיו של המשתמש פנויות ומאפשר, עקרונית, תפעול תוך כדי תנועה. אבל זאת רק בתנאי שהוא מצויד בממשקי תצוגה ותפעול המותאמים לכך. "המחשב הלבביש" (Wearable PC) פותח ויוצר עד לאחרונה על-ידי קבוצות קטנות ויצירתיות, המתמחות בדיגום ובזיווד, אך עתה כבר עוסקות בכך גם החברות הגדולות.

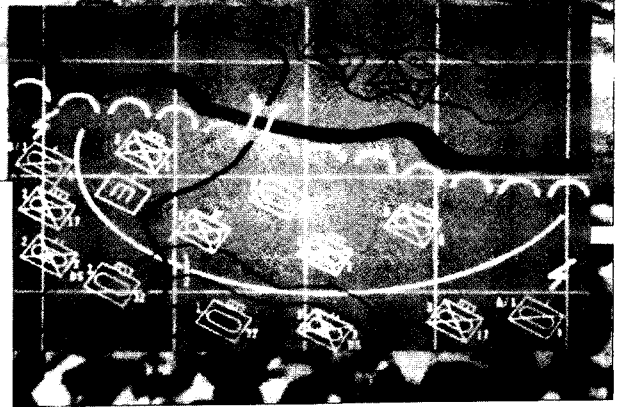
אין ספק שהפוטנציאל הטמון בכך יחד עם נגמת המזעור המתמשכת יביאו לפיתוח משמעותי של התחום. כל זאת בהנחה שטכנולוגיות HMI יתפתחו במקביל כדי לספק את דרישות התפעול המיוחדות. על המדף כבר

קיימים הפיתוחים בתחום ה-HMI, שישפכו את צורכי המשתמש הלוחם בשדה הקרב היבשתי ויחדירו את המערכות הממוחשבות למסגרות לחימה קטנות. נושא זה עוד יידון בהמשך המאמר. כיום, בתחילת המאה ה-21, ניתן לומר בהכללה, שמערכות ממוחשבות בעלות רמת דרישות בינונית עד גבוהה של HMI נוטות לעשות שימוש בתפעול גרפי על גבי פלטפורמת PC או תחנת עבודה בסביבת "חלונות". כרגע לא נראית עדיין שיטה שתשנה זאת. גם אם איכות התצוגות תשתפר מאוד בעשור הנוכחי, וגם אם שיטות ההצבעה תתפתחנה, לא נראה כרגע

גם אם איכות התצוגות תשתפר מאוד בעשור הנוכחי, וגם אם שיטות ההצבעה תתפתחנה, לא נראה כרגע מנגנון שיחליף את שיטת התפעול הגרפי



ציור של שדה הקרב (למעלה) ושל המחשבונית הגרפית על צג של מחשב אישי (מימין)



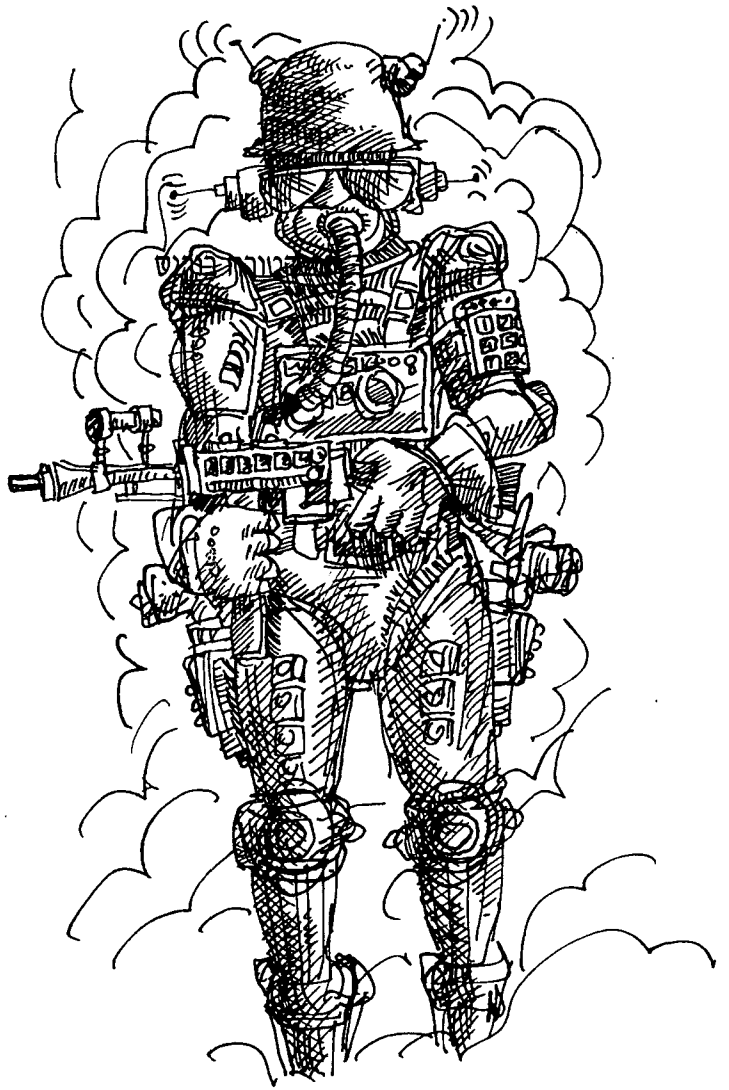
כבר ניתן להשיג כמוצרי מדף תצוגות צבעוניות ברזולוציית וידיאו ובתקן VGA, המספק את רוב צורכי ההווה של תצוגות וידיאו ומחשב. שיפור הרזולוציה והגדלת מספרם של הפיקסלים יאפשרו הגדלה של שדה הראייה, ויש לצפות בשנים הקרובות לשיפורים אלה ללא הגדלה של אביזר הראייה עצמו.

אמצעי תצוגה מסוג אחר הוא מקרן ה-VRD (Virtual Retinal Display). הוא מבוסס על טכניקה חדשה לחלוטין של הקרנה ישירה על הרשתית. תצוגת ה-VRD אינה כוללת צג וגם לא מסך. היא מנצלת את רשתית העין כמסך ומקרניה ישירות עליה. קרן האור עוברת דרך עדשת העין, מתמקדת על הרשתית וסורקת שטח בפסי סריקה אופקיים מהירים. להבדיל מתצוגות רגילות (ובדומה למצב במציאות הטבעית) אין השהיות בתמונה המוקרנת, ונקודת הפגיעה על הרשתית מוארת לפרק זמן של 40 ננו שניות בלבד. התמונה המתקבלת מתעדכנת בתדירות גבוהה והיא בורקת וחיה. התצוגה מספקת צבעים רוויים יותר מאשר תצוגות רגילות, וטווחי הבהירות ויחסי הקונטרסט גם הם טובים יותר, דבר המאפשר שימוש בתאורה סביבתית גבוהה. אבל היתרון המשמעותי ביותר הוא שהרזולוציה בשיטה זו אינה תלויה יותר בגודל הפיזי של הפיקסלים. אף שתצוגות ה-VRD נוסו עד כה רק ברזולוציות נמוכות, יחסית, מגבלת ההפרדה היחידה היא של גודל ושל פיזור תאי החישה על הרשתית. במילים אחרות: עם שיפור הטכניקה של ההקרנה לא תהיה למעשה מגבלה שתמנע הגעה לחדות הראייה של הצופה.

בעמדות שבהן אין מקום לתצוגות רגילות. ג. התצוגה מאפשרת לנצל פעולה של עוקבי תנועת ראש ובכך לאפשר הזזת התמונה על-פי תזוזות הראש לצורך הגדלת שטחי התצוגה ולצורכי הדמיות של מציאות סינתטית. ד. התצוגה מאפשרת הצגה סטריאוסקופית תלת-ממדית בצורה פשוטה ואמינה, מכיוון שמתקיימת כבר מלכתחילה הפרדה בין שתי העיניים.

בשוק כבר קיימים כמה סוגים של תצוגות ראש: סוג ראשון הוא תצוגת המשקף, שמקרנה אלמנטים גרפיים על גבי משקף. אמצעי זה מחובר לקסדה בצורה שאינה מפריעה לשדה הראייה, והאלמנטים הגרפיים מוקרנים על רקע הנוף, בדומה לתצוגה עילית במטוסי קרב.

סוג שני של תצוגות מכסה את העיניים תוך הצגת שתי תמונות לשתי העיניים בניחוק מלא מהסביבה. סוג זה של תצוגות ראש מקבל דחיפה מהצרכים של טכנולוגיית המציאות הווירטואלית. סוג שלישי של תצוגות ראש מהווה פשרה בין שדה ראייה חיצוני מלא לגמרי לבין שדה ראייה חסום לחלוטין. זאת באמצעות עינית תצוגה לעין אחת או באמצעות תצוגה הדומה למצחייה, המציגה תמונה דו-עינית רק בחלק העליון של שדה הראייה. תצוגות כאלה מאפשרות הצגה מלאה של תמונת וידיאו או מסך מחשב בלי לנתק לגמרי את המשתמש מסביבתו. אמצעי תצוגות הראש הולכים ומשתפרים משנה לשנה. כיום



### חיוויים מילוליים ופלט דיבור

אם ננסה לדמיין את הממשקים בערוץ מחשב-אדם אפילו לטווח ארוך יותר מ-10 שנים, יש לצאת מתוך הנחה שהדרך הטובה ביותר להזין את האדם במידע תהיה הדרך הטבעית - באמצעות חושי הספורים. מחשבי מערכות הלחימה יידרשו לספק את כל הממשקים הטבעיים הללו בכל צורה רצויה, כולל חיקוי של אמצעי התקשורת המרכזי של האדם: הדיבור.

חיוויים קוליים-מילוליים אינם נושא חדש בתחום ה-HMI, ונעשה בהם שימוש במערכות לא מעטות. היתרון הטמון בחיוויים מילוליים ובחיוויים קוליים בכלל הוא שהם רב-כיווניים, כלומר, הם מגיעים אל המשתמש ללא תלות בצורת התמקמותו ובכיוון הסתכלותו. לעומת זאת החיסרון הוא שהמידע המופנה לערוץ השמע הוא תלוי זמן. בניגוד לערוץ הוויזואלי, רק פריט אחד מועבר בו זמנית, והוא נעלם מייד אחרי שמיעתו.

יכולת הדיבור הסינתטי של מחשבי ה-PC התקדמה ומבוצעת באמצעות כרטיסי הקול הרגילים, כך שמדובר בטכנולוגיה זמינה לחלוטין לשימוש מעצבי ה-HMI. יש להניח שיעשה בשנים הבאות שימוש רב יותר בערוץ השמע, שכן הערוץ הוויזואלי

ימשיך להיות עמוס. לרשות מעצבים אלה עומדות יכולות גבוהות בתחום איכות הדיבור, כולל יכולת להעניק אינטונציות מכוונות וניואנסים של שפה טבעית, אפשרויות לשנות את כיוון מקור הקול במרחב תלת-ממדי מלא, והחשוב ביותר: יעמדו לרשותם די משאבי מחשב לטפל בתוכני הדיבור, ליצירת התבטאות בעלת גוון טבעי, המהווה מסר ברור ויעיל.

אחד הלקחים החוזרים ונשנים של אסונות ושל מקרי כשל, הקשורים במערכות התלויות בביצועי המפעיל, הוא ריבוי פתאומי של חיוויי התרעה, המבלבלים את המפעיל ומגבירים את הלחץ שבו הוא נתון בלאו הכי. הודעות דיבור עשויות לכוון את המפעיל בצורה יעילה. שימוש יעיל באינטונציות יכול לשקף סדר עדיפויות. לדוגמה, במקביל להפעלת נורית וזמזום התרעה, שמשמעותם תקלה בתהליך הירי, תישמע הודעה כגון "נצרה ראשית סגורה". המסר המילולי יכול להכיל גם הנחיה אופרטיבית, כגון "פתח נצרה ראשית". את העדיפות הגבוהה שבמסר ניתן להעביר באמצעות הדגשה ואינטונציה. הניואנסים של הדיבור חוסלו בתהליך סינתזת הדיבור המוכרת לנו, כפי שחוסלו ניוואנסים רבים של העולם המציאותי בתהליך הדיגיטיזציה. (גם לרעד העדין של מחט שעון המדידה האנלוגי יכולה להיות משמעות, האובדת כשהוא מוחלף בשעון דיגיטלי). כתוצאה מכך כבר נכשלו כמה וכמה מערכות "מדברות", שהיו מיועדות להשמיע הוראות פעולה ממפקד לפקודיו על-פי פעולות פקדים, המופעלים על-ידו כתחליף לקולו הטבעי. זאת למרות ההשקעות הנכבדות והכוונות הטובות של המתכננים. מכיוון שאין בעיה מיוחדת בשינוי אינטונציות של דיבור סינתטי, יש לצפות לשכלול השיטה והרחבת השימוש בה, וזאת בעיקר בשתי סיבות עבודה: הסביבה המתוחכמת בעלת העומס החזותי הגבוה (דוגמת מערכי בקרה ותאי טייס) והסביבה הדלה באפשרויות לאמצעים חזותיים (דוגמת פלטפורמות לחימה קטנות או סביבת הלוחם הבודד). בשני הקצוות האלה של הסביבה החזותית קיים יתרון בהכנסת חיוויי הדיבור, ויש לצפות לחדירתם.

### קלט וממשקי תפעול אדם-מכונה

מחשב החללית האינטליגנטי "הל" של ארתור קלארק בספרו "2001 - אודיסאה בחלל" שלט בכל תפקודי החללית. הוא גם תוכנת להביע רגשות כבן-אדם, על מנת שיוכל לשמש חברה לאנשי הצוות במסעם הארוך בחלל. הוא מדבר אליהם בקול אנושי רך ומלא הבעה ומשוחח איתם בשפה טבעית. בעוד ששאר התכונות האנושיות של "הל" עדיין שייכות למדע הבדיוני, את ממשקי הקלט-פלט שלו מול מפעיליו האנושיים חזה קלארק במדויק. אפשר לקבוע כי כיום כבר ניתן לתקשר עם מחשבים באמצעות דיבור דו-כיווני באופן יעיל למדי.

בתחום התקשורת בערוץ "אדם כלפי מכונה" מתמצים החידושים של העשורים האחרונים בעיקר בשיפור אמצעי ההצבעה על המסך. המעבר לתצוגות גרפיות הביא להתפתחותם של העכבר, של כדורי העקיבה ושל לוחות המגע, שהמשתף להם הוא תנועת



אלא שאוצר המילים שלה היה קטן מאוד: הספרות 1 עד 10. לעומת זאת מערכות הכתבה, שבאמצעותן מכתוב המשתמש טקסט ישירות לתוך מעבד תמלילים, "יודעות" עשרות אלפי מילים, וקצב ההמרה שלהן גבוה, אבל מידת הדיוק שלהן גבוהה פחות. דוגמא מובהקת לצורך באמינות גבוהה היא בתחום ההטסה,

היד והאצבעות תוך הזזה אנלוגית של סמן על גבי המסך. כמו כן התפתחו עטי האור וצגי המגע, המאפשרים הצבעה ישירה על המסך – כולם לאותה מטרה: סימון ומניפולציות של אובייקטים גרפיים. מכאן נובעות המגבלות שלהם: הצורך בצג ובאמצעי הצבעה, הצורך להשתמש בידיים והצורך לבצע בחירה מתוך תצוגה מוגבלת בהיקפה. האמצעים האלה, למרות חשיבותם, מספקים ממשק אילם ומוגבל למדי. אף שישנן פעולות בקרה, שמהיר ויעיל לבצע אותן באמצעות תנועות ידיים, ממשקי אדם-מכונה היו עשירים ויעילים יותר, אילו קיבלו פקודות דיבור כקלט – ממש כמו "הל".

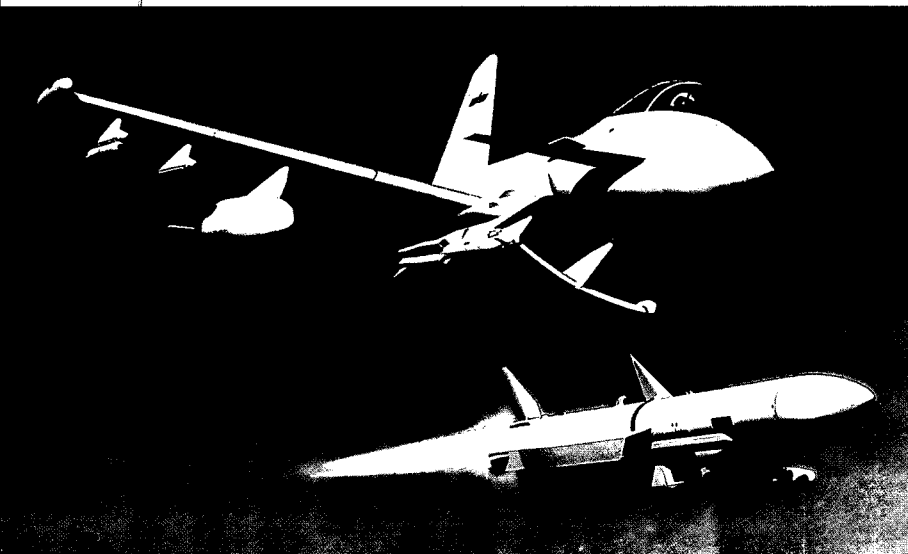
### קלט באמצעות דיבור

ממשק הפיקוד והבקרה באמצעות דיבור מבוסס על היכולת של מערכת ממוחשבת לבצע זיהוי דיבור (Speech Recognition) באופן שיאפשר לפרק את האותות האקוסטיים למילים בעלות משמעות. יכולת זו, שנתפסה בשנות ה-70 כמדע בדיוני ובשנות ה-80 כחזון רחוק, כבר קיימת היום, אם כי היא עדיין מוגבלת. היא לא צצה כפנטזי יחיד, אלא התפתחה במגוון שיטות בעקבות מאמצי מחקר לאורכם של שלושת העשורים האחרונים. עוצמות מחשבי ה-PC הפכו את היכולת הזו לזמינה, וכיום קיימת יכולת לזיהוי דיבור, הניתנת לשימוש ביישומים רבים. המשך המגמות הקיימות יאפשר למלא בקרוב אחר דרישות וצרכים מגוונים. האתגרים שמולם עומדים המפתחים של זיהוי הדיבור

אינם פשוטים. אחת המכשלות הקשות ביותר היא בעיית הרצף של הדיבור הטבעי, הקולח, שאינו מספק אתנחתאות בין המילים. בעיה נוספת היא לבודד את רעש הרקע – דבר שקשה לעשותו בסביבה רועשת ובעיקר כשהוא דומה בתכונותיו לדיבור. נוסף על כך יש צורך להימנע מהשפעת אינטרנציות וקצבי דיבור משתנים, ורצוי גם לא להיות תלוי בדובר. לעיתים ניתן להסתפק בזיהוי קבוצה מוגדרת של מילים, אך בדרך-כלל יש ערך לאוצר מילים רחב. מובן שלדיוק הזיהוי יש חשיבות רבה.

ניתן להחמיץ מילים תוך דרישה לחזור עליהן, כלומר לבצע שגיאת דחייה. אך אסור שיהיה זיהוי מוטעה, הגורם לשגיאת החלפה.

למען האמת, ילדים בני שלוש הינם בעלי יכולת טובה יותר ממערכות זיהוי הדיבור הנוכחיות, אבל יכולותיהן של אלה כבר נחשבות לכאלה שניתן לעשות בהן שימוש מעשי. על מנת שתתאים לשימוש ביישומים ספציפיים ברמת הטכנולוגיה הקיימת כיום נדרשות המערכות או תוכנות הזיהוי להתמחות בתכונה מסוימת תוך ויתור על תכונות אחרות. המשתנים החשובים הם תלות בדובר, דיוק, דיבור רציף ואוצר מילים. מובן שהאחד בא על חשבון האחר. לדוגמא, בסוף שנות ה-80 כבר פותחה מערכת זיהוי דיבור אמינה, שאינה תלויה בדובר,



ה"יורופייטר". במטוס זה עומדת לרשות הטייס מערכת לזיהוי דיבור, שבאמצעותה הוא יכול להפעיל מערכות שונות במטוס

ובדוגמא זו האמינות באה על חשבון אי-התלות בדובר. תא הטייס של מטוס ה"יורופייטר" (הנחשב לתחום הפיתוח המתקדם ביותר של מטוס זה), עושה שימוש במערכת

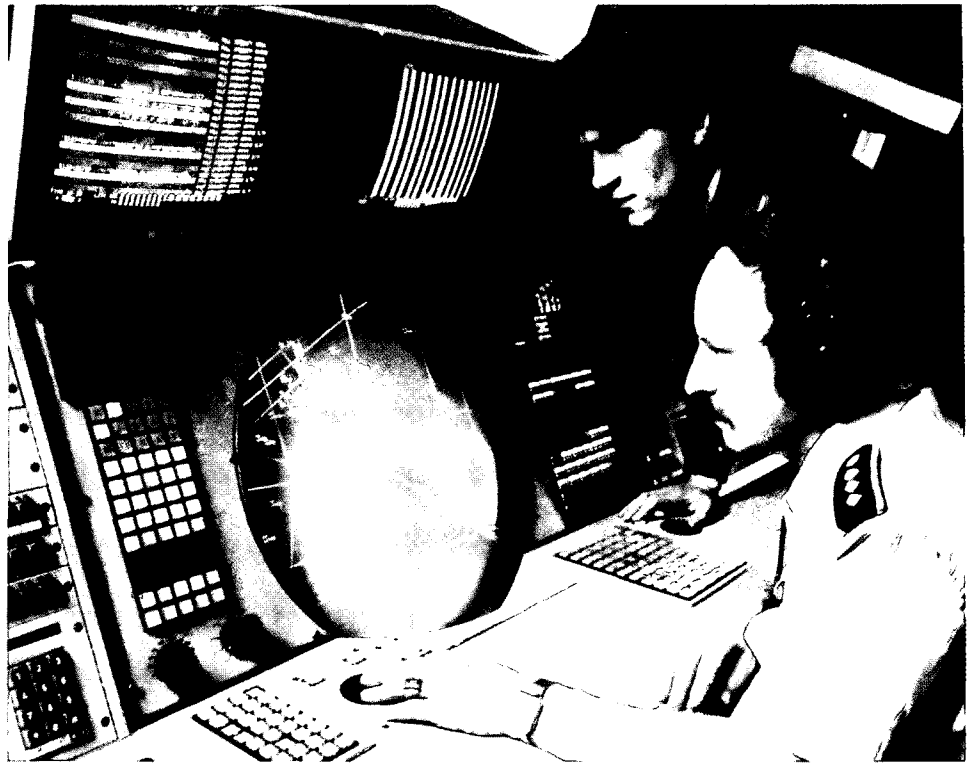
זיהוי דיבור. למערכת זו, המכונה DVI (Direct Voice Input), יש תפקיד מפתח בממשק טייס-מטוס. לא ניתן ממש להטות הגאים או לפתוח באש באמצעותה, אך היא משמשת לניהול פעולות תקיפה, ניווט, תקשורת וקבלת דיווח על מערכות המטוס.

מאחר שהדגש הוא על אמינות, נעשה שימוש במערכת תלוית דובר, המשתמשת

באוצר מילים קטן יחסית – 100-200 מילים. כל טייס נדרש להקליט את עצמו כמה פעמים, וכך מגיעים לאמינות הנדרשת. זיהוי הדיבור הוא האתגר הראשון בדרך ליצירת היישומים. האתגר השני שייך למתכנני ממשק הבקרה ולמהנדסי האנוש. זיהוי המילים הוא עניין אחד, ויצירת דו-שיח, שיעורר רושם של הבנת הדיבור על-ידי המערכת, היא עניין אחר. לצורך כך נדרשת לעיתים המערכת להכיר כללי תחביר, שעשויים לסייע לה הן בתהליך הזיהוי (שכן הוא מצמצם את מרחב האפשרויות) והן בתהליך של הפקת המשמעות ("ה"הבנה"). הבנה זאת יכולה להתקיים ברמות שונות:

א. חילוף פשוט של מילת מפתח, כגון המילה "המבורגר", בדוגמא הבאה:

למען האמת, ילדים בני שלוש הינם בעלי יכולת טובה יותר ממערכות זיהוי הדיבור הנוכחיות, אבל יכולותיהן של אלה כבר נחשבות לכאלה שניתן לעשות בהן שימוש מעשי



מערכת מכים ממוחשבת המציגה תמונה של כל התנועה האווירית במרחב מסוים. המערכת שבצילום היא מתוצרת חברת Hughes

תכנים בהיבט של אינטליגנציה מלאכותית. רמת הדרישה בשפה הטבעית בין אדם למחשב עדיין רחוקה כיום מקריטריון טיורינג הוותיק והידוע, שמגדיר מערכת אינטליגנטית באמת, רק אם אדם (אינטליגנטי), שינהל דרישה חופשי מול מערכת כזאת ומול אדם אחר באמצעות שני מסופים זהים, לא יצליח להבחין בין השניים. אבל מערכות ממוחשבות אינן חייבות להיות אינטליגנטיות עד כדי עמידה בקריטריון טיורינג על מנת ליצור ממשק דיבור עשיר וטבעי. בתחומים מוגדרים וצנועים בהיקפם קל כבר היום לטעות ולחשוב שאדם מדבר איתך ולא מכונה, וכבר היום ישנו כל הדרוש מבחינת עוצמת המחשוב כדי לתמוך בממשק דיבור דו-צדדי יעיל, היכול לספק צרכים מגוונים.

ממשק הקלט באמצעות דיבור אינו מתאים, כמובן, להעברת כל סוגי המידע. יש מידע המתאים יותר למניפולציות גרפיות, ויש מידע שניתן להעבירו בצורה יעילה יותר באמצעות פקדי שליטה, כוונון ועקיבה ידניים. במקרים רבים כדאי יהיה לשלב את ממשק הדיבור יחד עם אמצעים אחרים.

### ממשק קלט רב-ערוצי

ניתן לראות את ממשקי האדם-מחשב כדרישה בין שני מעבדי מידע, המנסים לתקשר זה עם זה למרות המגבלות של ערוצי הקלט-פלט שלהם. מערכות יעילות של אדם-מכונה זקוקות לכמה ערוצי תקשורת, המשולבים אלה באלה לצורך העברת הנחיות מהמשתמש למערכת, באופן שייצור תקשורת טבעית ואינטואיטיבית. המערכת המשולבת מסוגלת לקבל את המידע בצורה מקבילית, לבצע אינטגרציה בין הערוצים תוך חיפוש וזיהוי ההקשר, המסייע לפענוח טוב יותר של המסרים המגיעים מהמשתמש. מערכת אינטליגנטית, המגיבה לפקודות דיבור, יכולה במקביל לקלוט מידע מערוצים אנלוגיים כלשהם, המופעלים באמצעות המשתמש, כגון אמצעי הצבעה, מעקב אחר מצג הראש ושדה הראייה של המשתמש וכו'. השילוב הזה של קליטת פקודות פורמליות וניתוח מידע ממקורות קלט אחרים אמור לאפשר תגובה טובה לפקודות בנוסח: "שים את זה (מילולית) שם (הצבעה)" - ובכך לייעל את הממשק משתמש-מערכת בצורה משמעותית.

אחת מטכניקות העקיבה<sup>2</sup> הצפויות להתפתח בשנים הקרובות היא העקיבה באמצעות תנועות העיניים. מכשירים למדידת תנועות עיניים - בטכניקות מדידה שונות - קיימים זה זמן רב למטרות מחקר. שירי העין הם המהירים והמדויקים ביותר בגוף האדם, ולכן היכולת לבצע עקיבה וציון באמצעות תנועות עיניים מהירה ומדויקת יותר מכל אמצעי ידני. לשילוב של

מערכת: מה ברצונך להזמין?

משתמש: אני רוצה להזמין המבורגר, בבקשה.

ב. רמה גבוהה יותר מתייחסת לחילוף ולהתייחסות למיקום

המילה. לדוגמא, המשך הדיאלוג יכול להיות כך:

מערכת: המבורגר רגיל או כפול?

משתמש: כפול וגם צייפס וקולה גדולים.

ג. רמה גבוהה עוד יותר של הבנה תישמע כך:

מערכת: תרצה להזמין עוד משהו?

משתמש: אני רוצה לבטל את הקולה.

מערכת: הזמנת המבורגר כפול וצייפס גדול. נא להתקדם

בבקשה.

אינטראקציה כגון זו בין אדם למחשב מתאימה לאופיין של מערכות זיהוי הדיבור ותואמת את היכולות שלהן בהווה. סוג כזה של דרישה מחייב, למעשה, יכולת זיהוי של מעט מאוד מילים. חילוף המילים המזוהות מתוך דבריו של המזמין יוצר רושם של מערכת אינטליגנטית הרבה יותר מכפי שהיא באמת, אם כי הקטע האחרון כבר מצריך רמה מסוימת של הבנה תחבירית. אם נגדיל את אוצר המילים ונשפר את הניתוח התחבירי וההקשרי, נגיע לדרישה שיישמע למשתמש כמו שפה טבעית. המאפיין המרכזי של ממשק כזה הוא שאינו מצריך לימוד מצד המשתמש - למרות רבגוניותו. זהו גם יתרונו הגדול של ממשק דיבור בשפה טבעית.

לממשקי הדיבור בשפה טבעית יש איפוא שלושה רבדים:

הראשון עוסק ביכולת לזהות מילים או ליצור דיבור סינטטי. השני עוסק בפענוח ובניסוח השפה הטבעית תוך שימוש בעקרונות דקדוק ותחביר. הרובד השלישי עמוק עוד יותר ועוסק בפענוח

עבור חלקם משמעותו אוסף של טכנולוגיות, ועבור אחרים משמעותו עולם של משחקים ושל יישומים מרתקים אחרים. מזווית הראייה של מהנדס אנוש מדובר באמצעי בעל אפשרויות בלתי רגילות לאינטראקציה בין האדם למחשב. יחד עם זאת, מזווית ראייה זו רואים גם את הקשיים הניצבים בפני יישומים בתחום זה, שמוצג לרוב בצבעים עזים הן בספרות והן על-ידי הגופים המנסים לשוקקו (דבר אשר עלול להפיל אנשי מחשבים בשבי הדמיון).

הטכנולוגיות הקיימות היום בתחום המציאות הווירטואלית הן לא יותר מאשר הדגמה ראשונית של אפשרויות עתידיות. אף שההתעסקות בנושא זה היא כבר בת יותר מעשר שנים, עדיין נראים יישומי המציאות הסינתטית יותר סינתטיים ממציאותיים. הדבר נובע ממגבלות בכמה מתוך אוסף הטכנולוגיות הדרושות להפעלת היישומים של מציאות וירטואלית. מבחינת החומרה נדרש קודם כול מחולל גרפי חזק. למרות ההתפתחויות הדרמטיות ביכולות אלה, אפילו באמצעות תחנות עבודה גרפיות עדיין קשה להציג תא שטח תלת ממדי תוך כדי תנועה חלקה בקצב עדכון של 60 הרץ בלי להשתמש ב"טריקים" להגברת הריאליזם. כלומר, יצרני התוכנות עדיין מקדישים מאמצים רבים להפחתת הדרישות הגרפיות (למשל



מערכת איכון ממוחשבת PLRS

ממשק דיבור עם מערכת עקיבת עין יש פוטנציאל נרחב ורבי-ערך בביצוע פעולות בקרה. תנועות העיניים יכולות להתייחס לתכנים המוצגים, כלומר לתצוגות, או להתייחס לעולם החיצוני. מובן שלמדית כיוון העין ביחס לעולם החיצוני אין ערך, אם כיוון הראש אינו ידוע, ולכן, אלא אם מקבעים את הראש, יש - במקביל למדידת תנועות העיניים - למדוד את תנועות הראש. מדידה של תנועות הראש חיונית ליצירת ממשק של סביבה וירטואלית, שם נמדדת תנועת הראש לצורך הזזה תואמת של שדה הראייה.

**ממשקי סביבה וירטואלית**

סביבה סינתטית וירטואלית, שנהוג לכנותה "מציאות וירטואלית" (Virtual Reality), היא מודל תלת-ממדי ממוחשב, שבו יכול המשתמש להיות בקשרי גומלין עם הסביבה בצורה אינטואיטיבית ובזמן אמת ולתפעל אלמנטים שונים המרכיבים אותה, תוך תחושת נוכחות של "להיות שם". מעבר להגדרה זו אנשים שונים מייחסים למושג שגור זה משמעויות שונות.



מערכת סונאר ממוחשבת לאיכון צוללות

והתוכנה מעו ימים והמונחים לנושא, שטכני מסחר אוטונומיים יופעלו בתוך שלוש עד ארבע שנים. לגבי מציאות מדומה מעריכים שבתוך עשר שנים היא תשתלט על עולם המשחקים ועל הדמיות לצורכי הדרכה. לגבי אמצעי התצוגה - צפויה הבשלה של

מערכת ממשקים המציגה לטייס את שדה הקרב בשלוש צורות שונות: צילום, מפה ותצוגה גרפית תלת-ממדית



על-ידי הפחתת הרזולוציה בהתאם לטווח), וזאת אף שנעשה שימוש בכרטיסי חומרה ייעודיים. יש לזכור שתצוגת מציאות וירטואלית מוכרחה להזיז את שדה הראייה ללא הרף על-פי מיקומו ותנועתו של המשתמש, ואחת הבעיות היא עיכובים בקריאת מדדי המרחב ותרגומם לשינויים בתצוגה. גם הצגים של היום עדיין אינם מספקים את הרזולוציה הנדרשת,

שליטה והפעלה מרחוק בסביבות מסוכנות או קשות להגעה. ההבדל העיקרי בין השליטה מרחוק באמצעים רגילים לבין הנוכחות במציאות המדומה הוא שבמציאות המדומה נקודת המבט היא תמיד מבפנים כלפי חוץ באמצעות תצוגת הקסדה וקיום משוב לתנועת הגוף. על-פי תחזיות שונות צפויה תעשיית המציאות המדומה לגדול



מערכת 'בומברד' מתוצרת 'תדיראן' לעיבוד נתונים עבור סוללות ארטילריה

באמצעות שידות בקרה ומערכות עתירות HMI, ניתן למצוא בלחימה הימית. כבר לפני עידן המחשב הדיגיטלי תופעלו מערכות הלחימה הימיות באמצעות שידות הפעלה בעלות מגוון של אמצעי HMI – תצוגות ופקדים ששלטו על מחשבים אנלוגיים ועל מערכות אלקטרו-מכניות מורכבות. הסביבה הזאת, שהיא עתירת ממשקי תפעול, הייתה בין הראשונות שהפכו למשובצות מחשב, ומסוף שנות ה-70 כולל כלי-שיט מלחמתי אוסף גדול ומגוון של מערכות נשלטות-מחשבים המופעלים בידי אדם. סביבת התפעול הימית – כמו גם מערכי בקרה מורכבים אחרים, כגון תחנות כוח ומרכזי שליטה – תפיק תועלת רבה מהתפתחויות בתחום ה-HMI, מפני שתפוקתן תלויה בתקינותן של הממשק ועולה ביחס ישר ליעילותן.

להתפתחויות האלה אין אופי דרמטי, להוציא אולי תחום אחד, שעשוי לספק אפשרויות חדשות לחלוטין: המציאות הווירטואלית. טכניקות המציאות הווירטואלית שתוארו קודם לכן עדיין אינן

בשלות כיום לאפליקציות בתחום מערכות הלחימה. השימושים היחידים שכבר מתחילים להפיק תועלת מטכנולוגיה זו הם שימושי אימון והדרכה. עם זאת, בזכות הגידול ברוחב הפס של ממשק זה ובזכות תכונת ההתנתקות מהמגבלות הפיזיות של ממשקים אחרים צפויה הופעה של יישומים שונים במערכות לחימה מורכבות. להלן כמה דוגמאות מהתחום הימי:

אחת ממערכות הלחימה המורכבות ביותר היא מערכת שוייב ימית. תוכנת מערכת כזאת עשויה לכלול עשרות מיליוני שורות קוד, שחלק נכבד מהן מיועד להסדרת ה-HMI. המערכת מופעלת באמצעות שידות תצוגה ובקרה גדולות ומגושמות. לכן כשמחפשים יישומים של מציאות וירטואלית, הנטייה הראשונית היא לחשוב על שידה וירטואלית, שאינה תופסת נפח ומשקל מעבר לתצוגת ראש זעירה וכפפת תפעול וירטואלית. בעיני המשתמש יכולה השידה להיות גדולה ומורכבת יותר משידה פיזית, והדבר יכול לאפשר תפעולים מורכבים יותר. החיטכון בנפח ובמשקל הם סיבה טובה בפני עצמה. משקל תמיד נחשב לגורם שיש להפחיתו בספינות הקו הראשון, מה גם שעל כל טונה של אלקטרוניקה נדרשים שניים-שלושה טונות של גוף הספינה.

אבל רעיון כזה, הנשמע הגיוני לכאורה, מעיד על הבנה מועטה של האפשרויות הטמונות בטכנולוגיית המציאות הווירטואלית. אם מאמצים טכנולוגיה זו, אז מדוע להסתפק בהדמיית שידות קונוונציונליות ולא לחפש עקרונות תפעול חדשים? שידות התפעול הקיימות הן מכשיר לתיווך בין האדם למערכת, ומציאות וירטואלית אינה זקוקה למתווכים נוספים על מנת להציג את הזירה הטקטית בצורות היעילות ביותר. במקום להציג מסך עם מפה וסימנים טקטיים

ניתן להציג את מרחב הזירה התלת-ממדי ממעוף הציפור תוך הסתייעות בהמחשות גרפיות ושמיניות להשלמת התמונה. המשתמש יכול לשנות את נקודת המבט ולתמרן בתוך הזירה כרצונו ולפעול בתוכה, כשפעולותיו מבוצעות באופן ישיר על האובייקטים של העולם הווירטואלי ומתורגמות לפקודות בקרה. ההתנסות בתפעול מערכות שוייב ניסיוניות היא מרשימה ומבטיחה. התייחסות המפעילים חיובית ותואמת כמה רמות תפעול – מבקר שוייב ועד מפקד של כוח משימה ימי.

דוגמא נוספת ליישום אפשרי של מציאות וירטואלית בסביבה עתירת ממשקי תפעול כספינת קרב היא של "נוכחות מרחוק". אפשרויות התקשורת המגוונות ורוחבי הפס של ערוצי הנתונים מאפשרים כבר היום להעביר מידע בכמויות אדירות בין שתי נקודות כלשהן. בלי להיכנס לכדאיות המבצעית של תעבורת קשר כזאת, לא תהיה בהמשך העשור הנוכחי מגבלה להעביר את המידע הדרוש לקבלת תמונה דו-צדדית בהירה בין שני

מרכזי ידיעות הקרב (מייק) של שתי ספינות או בין ספינה לחוף. הכוונה אינה רק למידע הטקטי, אלא לכל הסביבה הפיזית כפי שהיא מצולמת ברגע נתון. אם הווידיאו (הדיגיטלי) של כמה מצלמות מאוחד עם מודל גיאומטרי תלת-ממדי של הסביבה, הרי שנוצרת מציאות וירטואלית של מקום מרוחק, וכל שנותר הוא להרכיב את קסדת התצוגה, "להיכנס" לאתר המרוחק, ותוך כדי הסתכלות ותנועה בתוכו להבין את המתרחש ולקלוט רשמים, שלא ניתן לקבלם בצורה אחרת.

הצורך בנוכחות מרוחק אינו מובן מאליו. בסביבה הימית קיימת מסורת, שלפיה נהנים המפקדים של כלי-השיט מעצמאות רבה ומסמכות מרחיקת לכת בקבלת החלטות (מסורת הנובעת מאילוץ המרחקים ומקשיי התקשורת). מצב זה מעורר שאלות לגבי הצורך ב"נוכחות מרוחק" במהלך הפעילות המבצעית. האם ירצה מפקד של כלי-שיט בנוכחותם של גורמי פיקוד בכירים כל העת מאחורי גבו? והאם בכלל ירצה מפקד בכיר להיות מעורב באופן בלתי אמצעי ברמת כלי השיט הבודד? מה שברור הוא שכבר בטכנולוגיה הנוכחית ניתן, עקרונית, לממש צרכים מן הסוג הזה, אם יהיו כאלה.

הדוגמה השלישית קשורה ביכולת ליצור איש צוות וירטואלי. באמצעות המציאות הוירטואלית ניתן גם למלא תפקיד של בן-זוג לתפעול מערכת או של איש צוות נוסף. מדובר ב"סוכן תפעול אוטונומי" מהסוג שהוזכר קודם, ואשר לובש צורה סינתטית כ"מנקן" – גובה בדמות אדם, המופעלת באמצעות תוכנה ייעודית. התוכנה מחוברת למחולל המציאות הוירטואלית, כך שהמשתמש מקבל את הדמות הוירטואלית כחלק מהמציאות

המדומה. היתרון שבשיטה זאת הוא שבאמצעותה ניתן לשמר את דפוסי התקשורת הרגילים של המשתמש. למעשה הוא מפעיל מערכת לא אנושית, אך האשליה היא של חבר צוות, של בן-זוג או של פקוד. דוגמה זו מופיעה גם בהקשר של מטוסי קרב עתידיים בעלי טייס אנושי אחד, המסתייע

בבן-זוג או אפילו בכמה אנשי צוות וירטואליים. מובן שהדמות המלאכותית יכולה להיות מופעלת על-ידי מפעיל מרוחק או להיות שילוב בין "סוכן תפעול אוטונומי" למפעיל אנושי בתפעול מרוחק.

### אפשרויות מהשוב הדשות לחייל ההיי"ר

מאפייני "מלחמת הכפתורים" כבר מזמן אינם בלעדיים לקרב הימי או האווירי. הואיל ומערכות הלחימה משובצות המחשב ועתירות ה-HMI כבר משתתפות בקרב היבשתי, סביר להניח שגם הן תושפענה מההתפתחויות האלה. אולם נראה כי ההתפתחות הדרמטית ביותר בעשור הנוכחי תהיה באופן הלחימה של הלוחם הבודד.

ניתן לזהות כמה מגמות בעולם האלקטרוניקה והמחשוב, שבזכותן ניתן יהיה להעלות מאוד את רמת המחשוב של מסגרות

לחימה קטנות – עד לרמת החייל הבודד.

- המגמה הראשונה היא של מזעור המחשבים. כיום כבר קיימות כמה קטיגוריות של מחשבים ניידים, שנועדו מטבעם להיות מטולטלים.
- המגמה השנייה קשורה באפשרויות התקשורת והעברת הנתונים. הקצבים ורוחבי הפס ההולכים וגדלים מאפשרים לקבל מכל נקודת קצה את המידע שהיא שולחת וכן לשלוח לכל נקודת קצה הן מידע והן שירותי עיבוד נוספים.
- המגמה השלישית נובעת מהשימוש בלוייני הניווט, המאפשרים לציין מיקום בדיוק רב. מידע חיוני זה דרש עד לאחרונה מאמץ אנושי רב, והיו בו אי-דיוקים. התפתחות זו גרמה לכך שמיקום כל הכוחות יהיה בבחינת מידע טריוויאלי לחלוטין, שניתן לקבלו באופן אוטומטי.
- המגמה הרביעית, שתאפשר לנצל את כל ההישגים שצוינו לעיל, קשורה בפיתוח הממשקים, שמאפשרים למסור ולקבל מידע ממחשב קטן. לדוגמה: המשתמשים במחשבי "כף יד" נוטים להתלונן על הצג הקטן, אבל לאחר שיורחב השימוש בתצוגות ראש וזעירות, סביר להניח שהם לא יתלוננו יותר על מחסור בשטח תצוגה. יתר על כן, שימוש בתקשורת דיבור דו-צדדית מול המחשב יפחית בכלל את הצורך להסתייע בצג. הממשקים המודרניים, שנסקרו בפרקים הקודמים, יאפשרו להסתייע במחשב בצורה טבעית. החייל המשתמש אינו נעצר ומפעיל מחשב, אלא מסתייע בו תוך כדי ביצוע פעולות.

מושג מפתח בהבנת תפקידו של המחשב בשדה הקרב הדיגיטלי

הוא המודעות המצבית (Situational Awareness), המאפשרת לכוחות הלוחמים לדעת בכל רגע נתון מה נמצא ומה מתרחש או מתוכנן להתרחש בגורת העניין שלהם. מידע זה הוא אולי הנכס החשוב ביותר של כל כוח לוחם בכל רמה. כעת מאפשרת הטכנולוגיה לארגן את המידע הזה ולהעבירו בזמן אמת עד לרמת החייל הבודד.

האם אפשר לצפות לכך שמסגרות חייר קטנות יוכלו לקלוט מידע כזה לתועלתן? טכנולוגיית השו"ב אינה מהווה חידוש לחילות הים והאוויר. בלחימה הימית משקיע כל כלי שיט הרבה מאמץ ב"בניית תמונה" טקטית ובסיכול מאמצי האויב לבניית תמונה משלו, ולצורך כך פותחו מערכות מורכבות. בלחימה האווירית, אף שכלי טיס אינם יכולים לעבד מידע ברמה של מערכת שו"ב ימית, המודעות המצבית של טייס הקרב נשמרת ברמה גבוהה באמצעות הבקרים הקרקעיים. השו"ב הממוחשב התפתח קודם כול בים ובאוויר משתי סיבות: הסיבה הראשונה היא שסינתזת הנתונים קלה מאוד יחסית לנתוני הלחימה היבשית. הזירה, המטרות והנתיבים – לכל אלה אופי סטנדרטי, והאלגוריתמיקה המטפלת בהם פשוטה, יחסית. הסיבה השנייה היא שלכלי השיט וליחידות הבקרה האווירית לא היו בעיות נפח או משקל להתקנת מערכות העיבוד והתקשורת על שידות

### ניתן לזהות כמה מגמות בעולם

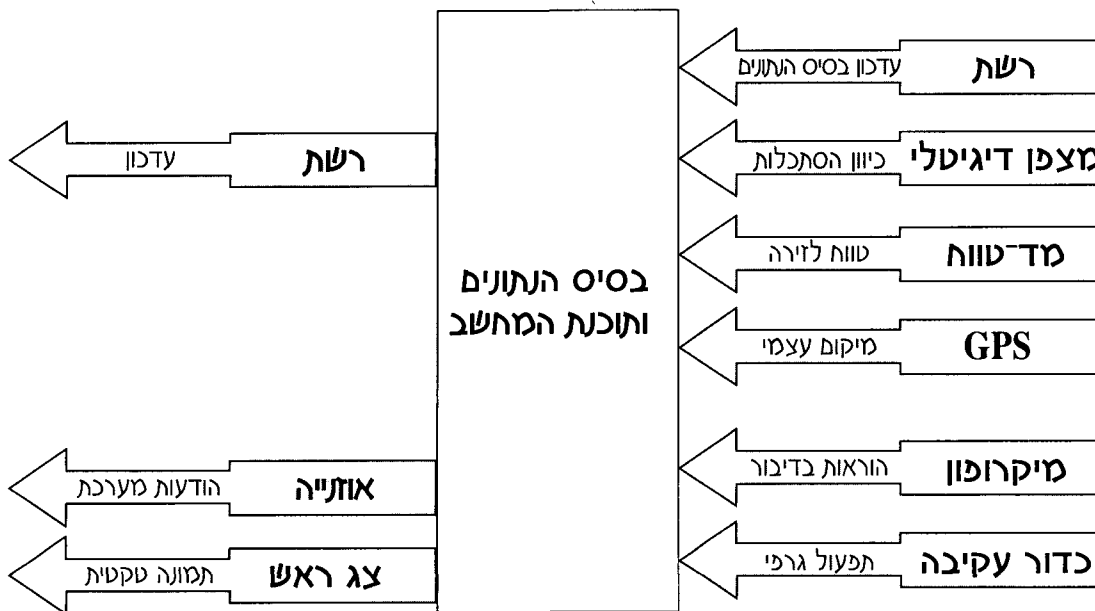
האלקטרוניקה והמחשוב, שבזכותן ניתן

יהיה להעלות מאוד את רמת המחשוב

של מסגרות לחימה קטנות – עד לרמת

החייל הבודד

## תיאור אמצעי קלט-פלט של מחשב "לביש" לחייל חי"ר



לבצע זאת, ויש כבר מערכות מדף הכוללות את רובם. ברור מהו ערכה של מערכת כזאת למשימות מיוחדות של ציון מטרות. אולם לא ברור מה יהיה ערכם של המחשבים הלבישים לקראת סוף העשור ליחידות החי"ר המסתערות, שם מתבקש יחס עלות-תועלת טוב יותר. מבחינת התועלת – ככל שהחיישנים החדשים מספקים נתונים רבים יותר, ככל שגובר קצב הלחימה, ככל שמתרבה השימוש בחימוש מונחה מדויק, וככל שעולה החשיבות של איכון אויב לטיפולן של יחידות אש מרוחקות, כך גם עולה הצורך במערכות ש"יב למסגרות קטנות. אין ספק שקיימת תועלת רבה במערכת קומפקטית, שתסייע לעבד את המידע המורכב של שדה הקרב ושתוכל לשדר את מיקומן של מטרות האויב בזמן אמת. מבחינת העלות – ציוד לחי"ר היה תמיד זול יחסית ובעל תוחלת שימוש ארוכה, ואילו עלות התפעול של ציוד מחשבים היא גבוהה מאוד, ולא צפוי בכך שינוי מהותי בעתיד הנראה לעין. לאור זאת קשה להתנבא מה תהיה מידת החדירה של המחשב האישי הלביש ביחידות החי"ר. הצורך המבצעי הברור והמענה הטכנולוגי הזמין מבטיחים שיעשה שימוש במערכות כאלה, אבל לא ברור לאיזה סוג ועד לאיזו רמה של כוחות.

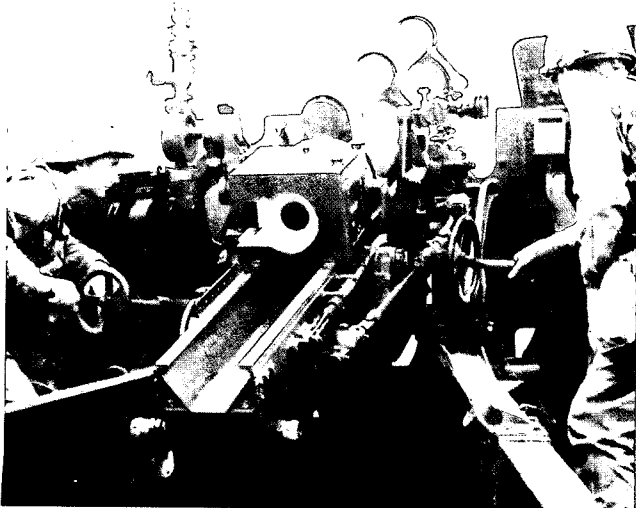
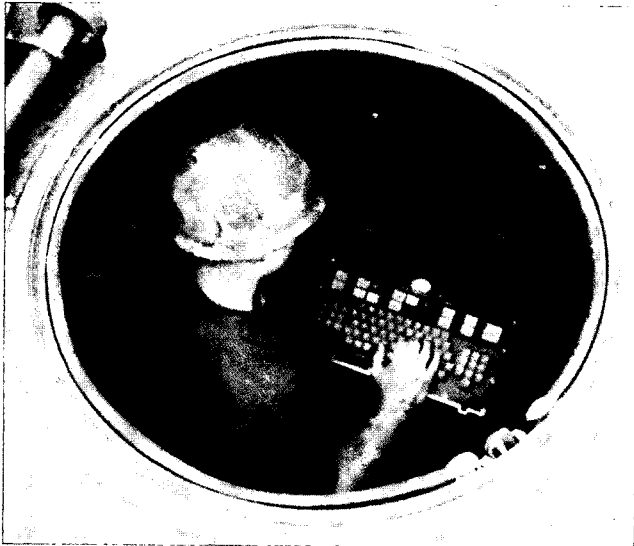
כניסתו לשימוש נרחב של המחשב האישי ללוחם תלויה מאוד באיכות הנדסת האנוש שלו, כלומר באפיון נכון של מרכיבי ה-HMI. התכונות הנדרשות ממערכת מחשב אישית ללוחם חי"ר מוכתבות יותר מתכונות האנוש ופחות מההתפתחויות הטכנולוגיות. לכן אפשר לראות בהן אפיון ארוך טווח, יחסית, של מערכות עתידיות. תכונות המפתח מתייחסות לקלות התפעול, לרמת ההכשרה הנדרשת, ליחס הלוחם המשתמש כלפי המערכת ולרמת

התצוגה והבקרה שלהן. לעומת זאת יחידות יבשה ניידות סובלות מהעדר מקום פיזי למערכות גדולות.

כיום כבר ברור שהטכנולוגיה מבטלת את הפערים האלה. כוח המחשוב, שיכול לוחם חי"ר לשאת כיום באפודו, גדול יותר מזה שנשא סטייל לפני 20 שנה. כוח מחשוב זה כבר מאפשר להשתמש בבסיסי נתונים ובתוכנות היכולות לטפל בנתונים המרובים לצורך הבהרתה של תמונת הקרב ופיזור הערפל. כל זאת בהנחה שהלוחם יוכל לתפעל את המחשב ולקלוט את המידע. כפי שהודגם קודם, יש להנחה זו על מה להתבסס. אחת האפשרויות שמקנה מחשוב החייל הבודד היא היכולת לבצע איכון מדויק של מטרות באמצעות "המחשב הלביש" וציוד נלווה. הציוד, המאפשר "למחשב" לוחם למשימה כזאת קיים כולו כבר היום: מחשב נישא המשובץ בתוך אפוד הקרב, כדור עקיבה קטן הצמוד לכף היד, למערכת התצפית או לכלי הנשק, תצוגת ראש חד-עינית זעירה, מיקרופון ואוזנייה, מכשיר GPS, מד-טווח ומצפן מגנטי חשמלי זעיר המוצמד אליו או לקסדה. חיבור כל האמצעים האלה באמצעות תוכנה מתאימה מאפשר לנוע בשטח תוך התעדכנות רציפה של המיקום העצמי על גבי מפה ממוחשבת תוך ראיית הווקטור של כיוון ההסתכלות, שקצהו מציינ את טווח הלזירה (ציון המטרה באמצעות לזירה). בדרך זו מסוגל הלוחם לראות את מיקומן במפה של המטרות שהוא רואה בעין, וכן הוא מסוגל לבצע פעולה הפוכה: לראות בעין היכן צריכים להיות אתרים המצוינים במפה. קצה הווקטור מספק את הקואורדינטות של המטרות, והמטרות המסומנות יכולות להיות משודרות אחורנית בתקשורת נתונים.

כאמור, כבר היום קיימים כל הרכיבים והתוכנות המאפשרים

## מערכות ממוחשבות לבקרת אש עבור סוללות ארטילריה



הביצועים הכוללת. הכוונה היא לתכונות הבאות:

- א. **איכות תצוגה גרפית גבוהה.** צג זעיר, המאפשר תצוגה שכוללת את כל המידע הדרוש, רק את המידע הדרוש ובעיתות המתאים. תצוגה זו צריכה להיות מעוצבת בהתאם ליכולות החישה והתפיסה האנושיות.
- ב. **יכולת הצבעה ותפעול גרפי.** לא נראה כרגע תחליף לתפעול הגרפי, וכל עוד נדרשות מניפולציות באמצעות סמן גרפי, יש צורך באמצעי הצבעה זעיר, שניתן להצמידו לכל משטח – כולל הנשק האישי. לטווח ארוך יותר ניתן יהיה לשלב טכניקות של עקיבת עין להזזת הסמן ולבחירת פעולות.
- ג. **ממשק דיבור דו-כיווני אמין.** הפיתוח המשמעותי ביותר בהקשר זה הוא ללא ספק שילוב של יכולות שפה טבעית.
- ד. **ארגונומיה משופרת.** המערכת תצטרך להיות זעירה, רתומה בצורה לא מסורבלת לאפוד הקרב ובעלת משקל מינימלי.
- ה. **הפרעה מינימלית לחושים.** אסור שהמערכת תסתיר את שדה הראייה ותפריע לראות, לשמוע ולנוע בבטחה.
- ו. **שילוב כל מקורות הקלט.** תוכנת HMI תצטרך להיות בעלת יכולת לשלב את כל מקורות הקלט ולסייע למפעיל תוך הבנת ההקשר התפעולי. גישה ידידותית וגמישה זו כוללת גם קבלה של סגנונות תפעול שונים ואף סלחנות לטעויות תפעול.

השיפור המתמיד בעוצמת המחשבים מבטיח כי בהמשך העשור יהיו ל"מחשב החייר הלבני" די משאבי עיבוד לטיפול בממשקי התפעול והתצוגה. בזכות כך ניתן יהיה להתאים אותם בצורה הולמת לצורכי המשתמש. הפיתוח המקביל של טכנולוגיות התצוגה ושל החומרה ההיקפית בכלל מבטיח קיום מערכות שיענו על צרכים מבצעים מגוונים, שרק יילכו ויגדלו ככל שתגדל עוצמת המחשוב.

### הערות

1. **MMI (Man Machine Interface)** הוא הקיצור השגור ביותר. אך כיום מעדיפים את המונח **HMI (Human Machine Interface)** או את המונח **HCI (Human Computer Interface)**, כשמדובר בתפעול מערכות ממוחשבות.
2. עקיבה (**Tracking**) היא המונח המציין הזזה רציפה של סמן או של שדה הראייה תוך ביצוע תיקונים כדי לשמור על יחס מסוים כלפי מטרה, סינל או אובייקט גרפי.
3. להבדיל מצליל סטריאופוני, הנשמע כצליל בעל כיוונית משתנה במישור אופקי, כיוונית הצליל התלת-ממדי משתנה גם בציר הגובה. הדבר מושג על-ידי חיקוי השינויים בגלי הקול, כפי שהם נשמעים לאחר עיוותים הנובעים מצורת אפרכסת האוזן, נוסף על הפרשי הזמן והעוצמה היוצרים את הצלילים הסטריאופוניים.
4. החיפוש דומה לפעולות מנועי החיפוש באינטרנט, אלא שלהבדיל מהם, לא מבוצעת אינטראקציה של דו-שיח, שבאמצעותו מתקדם המשתמש אל מטרתו. הסוכן ש"משוחרר לדרכו" מתקדם אל מטרתו ומביא מדי פעם אל המשתמש את "שללו" תוך חתירה ליעול עצמי ולתיקון מתמיד.

