

בחוברת „מערכות“ קצ"א-קצ"ב הופיע מאמר על „המחשב במלחמה“, בעקבותיו הביעו קוראים משאלה לאפשר היכרות כללית יותר עם המחשבים. מטרת המאמר הזה היא להיענות לבקשה ולאפשר הכרה יסודית יותר עם המחשבים להבנת עקרונות-פעולתם, ולהצביע על שימושיהם השונים, תוך שימת דגש על שימושים צבאיים קיימים או אפשריים.



תכונות דשימושיהם

ד"ר ט' למדן

מקובלת ההשקפה כי האנושות, המתלבטת עדיין בבעיות „המהפכה התעשייתית“ ואשר לא התגברה על הקשיים שהתעוררו כתוצאה ממהפכה זו — עומדת בפתחה של „המהפכה האוטומטית“. השקפה זו טוענת, כי השפעתה של „המהפכה“ החדשה על מהלך-חיינו תעלה לאי-ערוך על השפעת קודמתה. ניצניה של „המהפכה האוטומטית“ ניכרים כבר עתה ברבים מתחומי חיינו. בדומה לשכלולים והמצאות רבים, נראה כי בתחומי הצבא והביטחון מצאו המחשבים (והאוטומטים למיניהם) את שימושיהם הראשונים. עם זאת, בדומה למכשירים וכלים רבים אחרים, כמו המכונית, מקלטי-הרדיו והטלפון — אין השימוש הצבאי שונה לרוב במהותו מן השימוש האזרחי. את ההבדל העיקרי ניתן, כמובן, למצוא בתנאי הסביבה ובמסיבות בהן מופעל המכשיר — יהא זה מכשיר-הטלפון או המחשב.

סקירה כללית

את המחשבים אפשר לחלק לשתי מחלקות:

מחשבי הדימוי (Analogue Computers)

המחשבים הספרתיים (Digital Computers)

המחשב מן הסוג הראשון, מחשב הדימוי או המחשב האנלוגי, עורך את חישוביו על ידי הפעלת מערכת פיזיקלית, שעליה ניתן לפקח בקלות יחסית, והמתנהגת בהתאמה ובצורה דומה (ומכאן שמו של סוג-מחשבים זה) למערכת המשמשת המתמטיות שבה הוא מטפל. דוגמאות לשלש מערכות מחשבי דימוי הן הסרגל הלוגריתמי או הגררה של כוונת-הכמה בסרגל הלוגריתמי ניתן לבצע, על-ידי הזזת מכשירי פעולות אריתמטיות כמו כפל וחילוק, ופעולות טריגונומטריות; הגררה בכוונת הרובה מתוכננת כך, שהזזתה מאפשרת תיקון אוטומטי בהגבהה הדרושה, כדי לקזז את השפעת הטווח על מעופו של קליע-הרובה.

מחשבי-דימוי משוכללים יותר, מכניים ואלקטרוניים, מצאו שימוש נרחב במערכות-הנשק של תקופת מלחמת-העולם השנייה, הן לשם עריכת חישובים גרידא והן במערכות בקרה אוטומטיות. מערכות אלה כללו, בין השאר, גם מחשבי כוונת-רובה ותותחנים. מחשבי-המטרה של מטוסים, ומחשבים לתווכים גיאומטריים מתחשבוניים שונים (פרלקסה). כיום נמצאים מחשבי-דימוי בודק ניכר ממערכות-הנשק המשוכללות ביותר.

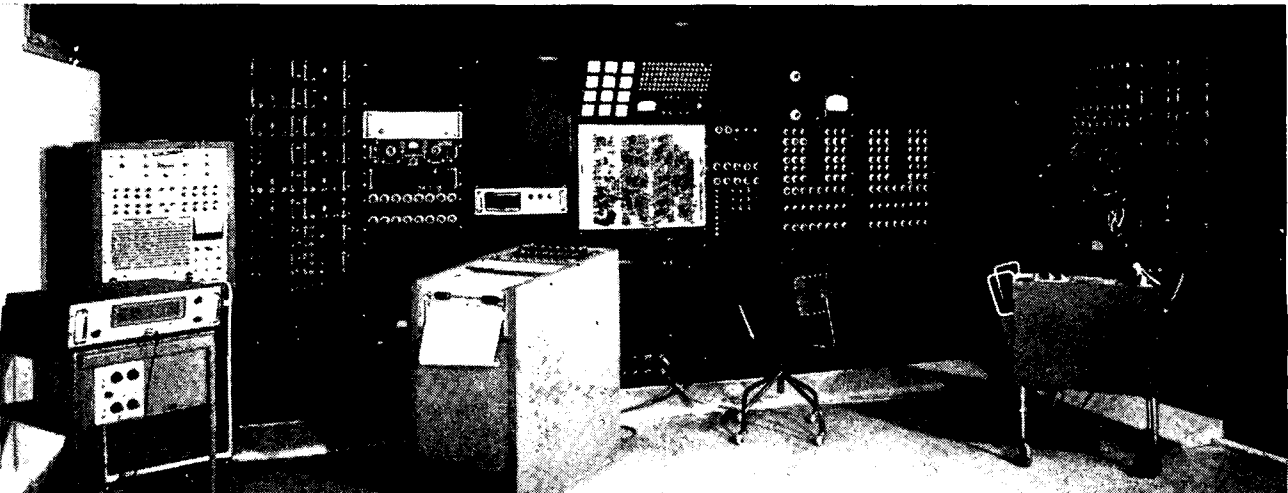
באורח כללי ניתן לומר כי מחשב-הדימוי מצא שימוש טבעי במערכות צבאיות ואזרחיות, שניתן היה לתארן בעזרת משוואות דיפרנציאליות (ומכאן אחד השמות המקובלים למחשבים אלה: מחשבים דיפרנציאליים). אחת המגבלות העיקריות של מחשב-הדימוי התבטאה בכך שדיוק הפתרון היה תלוי בדיוקם של הרכיבים המשמשים במחשב ולפיכך הוגבל לדיוק ההנדסי הסביר, שהוא בדרך-כלל — 0.1% לרכיב בודד. כתוצאה מכך לא ניתן היה לדייק בפתרון בעיות, תוך מאמץ כלכלי וטכני סביר, אלא בסדרה של כזה גוסיף על כך הוברר, כי רבות הבעיות אשר אי אפשר להיגן בצורת משוואות דיפרנציאליות וכן רבים המקרים שבהם יש צורך באגירת מספר גדול של נתונים לזמן ארוך; לפתירת בעיות כאלה אין מחשב-הדימוי מתאים, ולעומת זאת קל יחסית לפתור בעזרת המחשב הספרתי.

מסיבות שונות אין מחשב-הדימוי מוכר בתדעת הציבור הרחב, למרות המקום הרב שהוא תופס, הן בחיי יום-יום והן במערכות אלקטרוניות מסובלות במלחמה. המחשב האלקטרוני הספרתי, לעומתו, זכה — ובמיוחד בשנים האחרונות — לפופולריות רבה, שגבלה לעתים לזמה מזה כן שהן בחוגי ההדיוטות והן בחוגים מקצועיים ליישום תכונות שאינן בו.

המחשב הספרתי בצורתו המשוכללת ביותר, מבוסס על עקרון הפעולה הפיזיקלית היחסית של יחידה אריתמטית, שכדוגמתה מוצאים בו גם במכונות-החישוב השול-חניות הפרימיטיביות ביותר. ללא מבנהו ודרך פעולתו, מאפשר מחשב זה חופש רב בבחירת השיטה המתמטית למימוש הביצוע השלילי, ואף אינו מגביל — באורח עקרוני — את היכולת להגיע לפתירת כל בעיה ובעיה. למאמץ הספרתי היסטוריה ארוכה ביחס. ניתן לראות את התחילת הידועה כיום כבר לתלמידי הכיתות הנמוכות ב"פרסודי, מחשב ספרתי" פרימיטיבי, אף כי אין בה אמנם ולא כלום, מתכונות האוטומטיות.

כבר לפני למעלה ממאה שנה ניסה צ'רלס בבג' (1792) — (Charles Babbage; 1871) לבנות מערכת מכנית, שבה שימשו העקרונות הבסיסיים של המחשב בן-ימינו. צ' בבג' נכשל בניסיונו לממש את רעיונותיו, כיוון שהרמה הטכנולוגית של זמנו לא איפשרה זאת. חלקים מן המכשיר שבנה בבג' מוצגים כיום במוזיאון הבריטי, ויש הרואים בממצא זה את אבי המחשבים המודרניים. בסוף המאה הקודמת הוחל בשימוש בציוד המבוסס על כרטיסי-נייר מנוקבים, ושימוש זה נעשה נתוני סקרים לצורך דיווחים סטטיסטיים. מחשבים משוכללים יותר הם מכונות-החישוב שולחניות הידניות ומכונות-החישוב האלקטרומכניות. בשנות הארבעים המאה הנוכחית התרבה והלך הציוד האלקטרוני האוטומטי, ששימש לעיבוד נתונים משרדי. ציוד זה התבסס בעיקר על מערכות כרטיסי-נייר מנוקבים (כרטיסי "ני.ב.מ."), כפי שהם קרויים בפי הציבור). הוקמו אף חברות מסחריות גדולות שהתמחו בייצור ציוד כזה. בסוף שנות השלושים הבשיל הרעיון, והתבררה האפשרות של בניית מכונות-חישוב אוטומריות. המחשבים הספרתיים המשוכללים, במתכונת דומה לזו המקובלת כיום, הופיעו לראשונה בשלהי מלחמת-העולם השנייה.

מתוך אנלוגי — פיתוח רפא"ל



וזאת — רק על סמך קריטריונים כלליים, הנקבעים מראש. תהליך זה נעשה במהירות בה פועלת המערכת — היחידה האריתמטית והזיכרון — וללא צורך בהתערבות חיצונית של המפעיל-האדם. כך הפכו המערכות למחשבים, שתכנית פעולתם אגורה בהם מראש (Stored Program Computers). עם שכלול זה התגבש מבחינה לוגית המכשיר הידוע כיום כמחשב הספרתי האלקטרוני הכללי (General Purpose Electronic Digital Computer).

בשנים שחלפו מאז זכו המחשבים לשיפורים ולשכלולים רבים. בתקופה זו התחוללה המהפכה הטכנית של המעבר מן השפופרת האלקטרונית כרכיב האקטיבי היסודי של המחשב — לשימוש בלעדי בחצי-מוליכים (Semiconductors) — הטרוניסטורים והדיודות; חלה התפתחות בשיטות הזיווד והאריזה (Packaging) של המרכיבים; ושוכללו השיטות הלוגיות של בניית מערכות-מחשבים. במקביל למדו המפעיל לים והמתמטיקאים כיצד להפעיל את המחשבים ולהשתמש בהם. נכתבו תכניות ושפות אוטומטיות (Compilers) והתפתחה תעשיית התכנות (Software). על מנת להדגים את מידת ההתקדמות שחלה בתקופה זו, נבחן את השינויים שחלו במהירות פעולתו הבסיסית של המחשב: סיכום שני מספרים בעלי 10 ספרות דצימליות מצריך כ־5 שניות במכונת-חישוב ידנית; זמן זה מתקצר לשניה אחת במכונת-חישוב חשמלית, ובמחשבים אלקטרוניים משוכללים מצטמצם זמן זה ל־0.000,001 שניה (10^{-6} Sec) — ועדיין לא נאמרה המלה האחרונה בתחום מהירות הפעולה.

המגמה לבניית מחשבים גדולים ומהירים מקודמיהם מושפעת משתי תופעות עיקריות: הראשונה כרוכה בקיומן של בעיות אשר פיתרוןן מצריך מחשבים כאלה, כלומר בעיות שאין המחשבים הקיימים מסוגלים לפתורן כהלכה, אם מבחינת משך פיתרוןן ואם מבחינת דיוק הפיתרון ופירוטו. דוגמה לבעיה כזאת היא הדרישה לחיזוי מזג-האוויר. התופעה השנייה המעודדת בניית מחשבים גדולים יותר היא העובדה, שבתחום-העבודה הנוכחי גוברת יעילותו של המחשב עם הגדלתו והגדלת מהירותו, כלומר — המחיר לפעולה הבודדת נמוך במחשבים גדולים ומהירים מאשר במחשבים הקטנים והאיטיים. כיום נמצאים בפיתוח מחשבים אשר יגדילו עוד יותר את מהירותו המעשית של המחשב.

בנוסף על שני סוגי המחשבים שצוינו לעיל, קיימים סוגים נוספים שפעולתם מבוססת על צירוף של שתי השיטות הבסיסיות, ועליהם נמנים, למשל, המחשבים מטיפוס DDA (Digital Differential Analyser), שאופן-פעולתם דומה לזה של מחשבי-הדימוי ואילו מבנם — ספרתי.

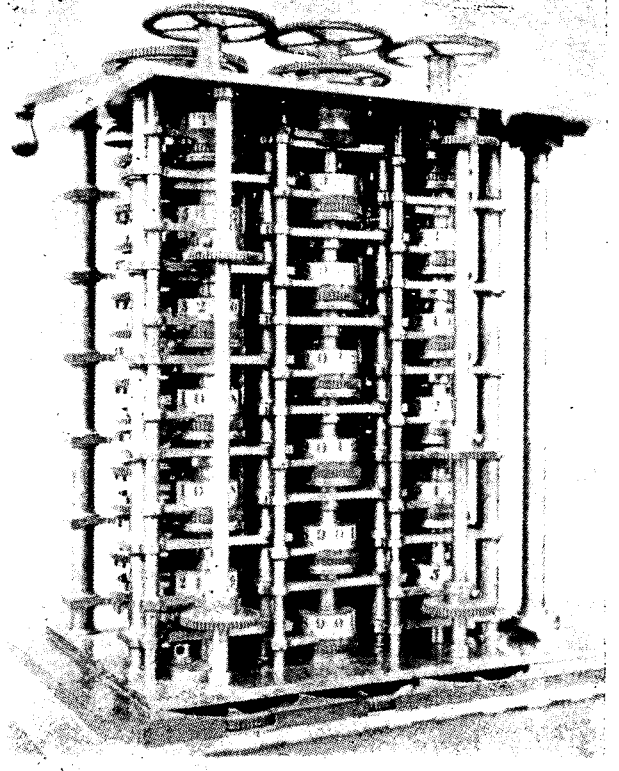
המחשב הספרתי

המחשב האלקטרוני הוא מכשיר מורכב למדי, ובו רכיבים אלקטרוניים ומכניים רבים-יחסית. ננסה להקנות כאן מושג ראשוני על מרכיבי המחשב ואופן פעולתו, כדי לאפשר הבנת האפשרויות הטמונות בו.

* ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Calculator.

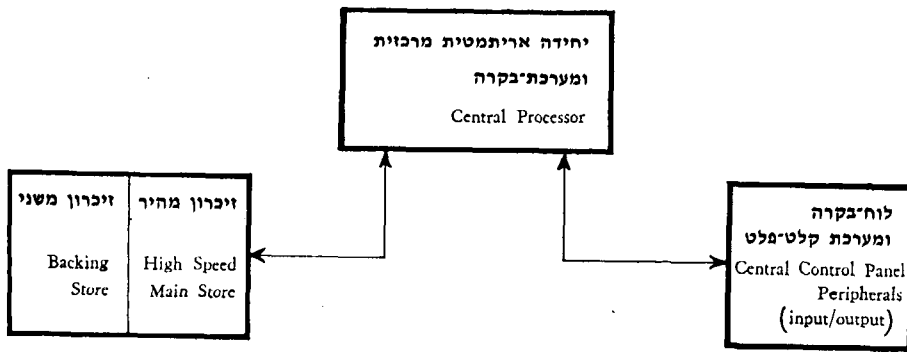
מכשיר משוכלל יחסית, שכונה Mk.I, הופעל ב־1944 באוניברסיטת „הרווארד“ בארה״ב. עקרונות פעולתו היו דומים במידה רבה לאלה של הציוד הקונבנציונלי לעיבוד נתונים, והוא לא התבסס עדיין על מרכיבים אלקטרוניים. עם השלמתו הספיק לתרום למאמץ המלחמתי של התקופה, והועסק — בין השאר — בחישובי טבלאות בליסטיות.

ב־1946 הופעל באוניברסיטת „פנסילבניה“ בארה״ב ה־ENIAC*. מכשיר זה כלל שפופרות אלקטרוניות, ומהירות פעולתו עלתה פי 100 על זו של ה־Mk.I. בעקבות שני מכשירים חלוציים אלה החלו מופיעים, בקצב גדל והולך, מחשבים שונים — שהלכו ונשתכללו יותר ויותר. הפעילות עברה גם לצדו השני של האוקינוס, לבריטניה, וכעבור זמן לא רב הצטרפו למעגל המחשבים גם החברות המסחריות,



חלק מן החברות המכנית של בבג

שהפכו את הפעילות המקצועית בתחום זה, תוך שנים ספורות, לתעשיית-ענק. תופעה זו של הולדת טכנולוגיה חדשה מבוססת כמובן על-ידיך שמאז המחצית השנייה של שנות הארבעים הלכה ונפוצה בין המדענים והמהנדסים ההכרה הן ביתרונות השימוש במחשבים כאלה לפתירת בעיותיהם, והן באפשרויות הטכניות והכלכליות לבניית מחשבים ספרתיים אלקטרוניים. עם מימוש הרעיון של צירוף הזיכרון האלקטרוני ליחידה האריתמטית, זיכרון בו ניתן לאגור, בנוסף על הנתונים, גם את תכנית עבודתו של המחשב (Program), התאפשר צעד עקרוני בשכלולו של המחשב הספרתי. כתוצאה מתוספת הזיכרון נוצרה מערכת, שאחת מתכונותיה העיקריות היא האפשרות להתאים את תכנית עבודתה ולעדכנה תוך-ידי תהליך פתירת הבעיות ובהתאם להתפתחות הפתרון.



מרשם מס' 1

מבנה המחשב הספרתי

דיאגרמת הגושים (Block Diagram) של מחשב ספרתי אופייני נתונה במרשם מס' 1: המחשב הספרתי מורכב, כעולה מן הציור, משלושה גושים:

1. היחידה האריתמטית, שבה מבוצעות הפעולות השונות על הנתונים המספריים והפקודות; זו מורכבת מיחידות לוגיות בסיסיות, ועשויה לרוב מרכיבים אלקטרוניים כגון טרנזיסטורים, דיודות וכדומה. פעולתיה האלמנטריות מבוצעות ביחידה זו במהירות רבה יחסית, המגיעה — במחשב בים המהירים — עד מעבר ל- 10^{-8} Sec לפעולה מסוג זה.
2. הזיכרון, בו מאוחסנים האינפורמציה, התכנית והנתונים, שממנו שואבת היחידה האריתמטית את נתונה והוראותיה — ואליו היא מחזירה את התוצאות. הזיכרון המהיר בנוי כיום, על-פי רוב, מטבעות מגנטיות (Ferrites), ומהירות פעולתן נעה בסביבת 10^{-6} Sec — זו המהירות בה ניתן לאחסן או לקבל יחידת-אינפורמציה (מספר או הוראה) מזיכרון-טבעות כזה. נפחו של זיכרון-טבעות נע בין 1,000 מלים במחשב קטן עד 100,000 מלים ויותר במחשב גדול.

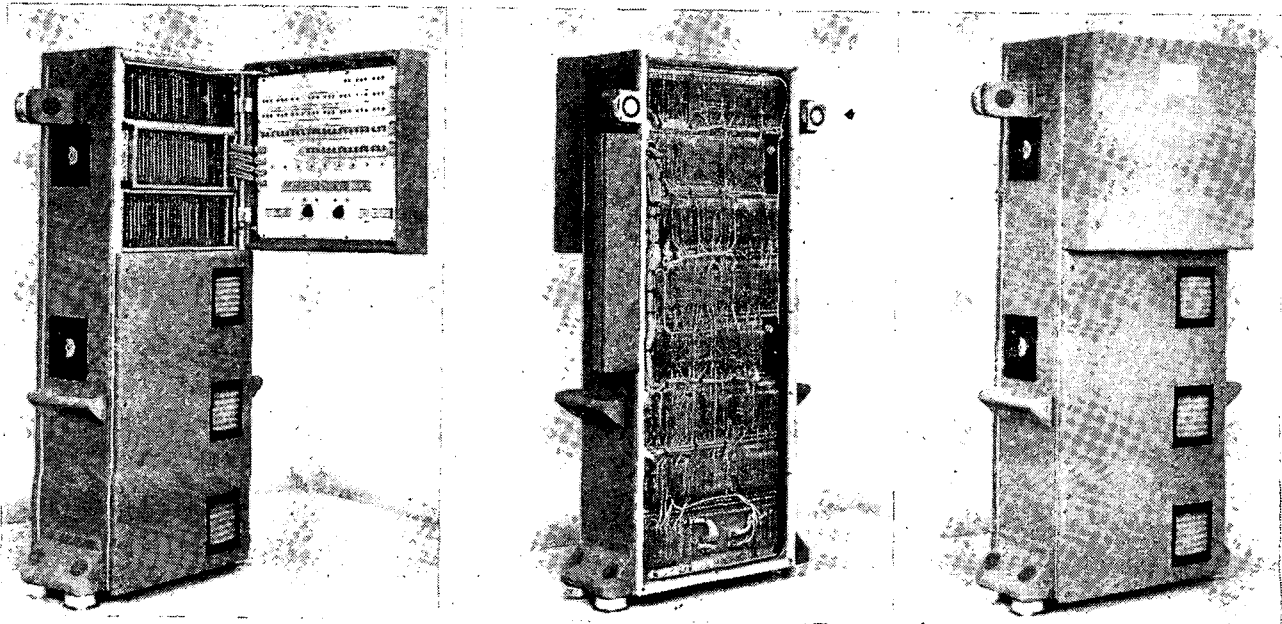
לעתים קרובות, בעיקר מסיבות כלכליות, נתמך הזיכרון

המהיר בזיכרון משני, שמהירות פעולתו אמנם קטנה יותר — אך נפחו גדול, ומאפשר אחסון מיליוני מלים.

3. לוח הבקרה ומערכת הקלט-פלט: חלק זה של המחשב מאפשר לו קשר עם העולם מסביבו; בעזרתו מסוגל המפעיל למסור למחשב את הנתונים וההוראות, ובאמצעותו מעביר המחשב את תוצאות חישוביו ופעולותיו. מערכת הקלט-פלט היא מערכת ענפה של מכשירים שונים, המאפשרים קשר דו-כיווני בין הצרכן למחשב. מערכת זו כוללת, בהתאם לצורך, יחידות של מכשירי-כתיבה ומדפסות, קוראי ומנקבי סרטי-נייר וכרטיסים, יחידות תצוגה ורושמים גרפיים, יחידות סרטים מגנטיים ועוד. במקרים אחרים נחשב כחלק ממערכת זו כל הציוד המקיף את המחשב במסגרת בה הוא מופעל, כגון מכונת-הייצור המופעלת על-ידו במתקן אוטו-מטי — או הטיל הבליסטי המבוקר על-ידי המחשב תוך כדי מעופו. נוסף על הגושים שתוארו לעיל, יכלול המחשב האלקטרוני חלקים רבים נוספים, כגון טעקים אלקטרוניים, מייצבי מתח הרשת, ולעתים אף מערכת קירור-אוויר וכיוצא באלה — שהם חיוניים, כמובן, לפעולתו התקינה.

יש להבהיר שאף כי דיאגרמת הגושים בציור מתארת כמעט כל מחשב אלקטרוני, משתרע גדול המחשבים המסורתיים במציאות על תחום רחב יותר — דבר המתבטא

מערכת הכוללת מחשב ספרתי כללי — „מחץ“



הקומפוננטות בהן משתמשים לבניית המחשב האלקטרוני. מבחינת המחיר ומהימנות הפעולה, נוח להשתמש במרכיבים אלקטרוניים אשר להם שני מצבים קיצוניים: קצר (ON) ונתק (OFF). גם תופעות פיזיקליות אחרות קל לסווג בשני מצבים קיצוניים, למשל: כיוון המגנט — צפון ודרום; באופטיקה — אור וחושך; קיומו או אי-קיומו של נקב בדף-נייר; הולכת זרם או אי-הולכתו בטרנזיסטורים וכדומה. אגב אורחא יצויין, כי כל התופעות הטכניות-פיזיקליות שנמנו כאן מצאו שימוש מעשי בהצגת נתונים בחלקיו השונים של המחשב.



מחשב ספרתי כללי — „צברק“

מובן שבשלב הקשר בין המחשב לאדם, מוטב לתרגם את הנתונים לצורה הנוחה לשימוש — אם בצורה הדצימלית כפי שאכן נעשה לרוב, אם בצורה גרפית, ואם בכל צורה אחרת, בהתאם לנסיבות. גם תרגום זה יכול להיעשות על-ידי המחשב עצמו — למשל, תרגום המספרים להצגה העשרונית והדפסתם בעזרת מכונת-כתיבה חשמלית, שהיא חלק ממערכת-הפלט. בהצגה העשרונית ניתן, על-ידי צירוף מדורג של ספרות, לקבל מספר כלשהו, למשל — $153 = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3 \times 10^0$. משקלו של מקום הספרה במספר נקבע מראש, והוא חוקה מסויימת של 10 (מספר זה הוא בסיס השיטה). בהצגה הבינרית ייקבע מקום הספרה הבודדת (ובמקרה זה ישנן שתי אפשרויות בלבד — „0“ ו-„1“), את משקלה בחזקות של הבסיס 2. למשל — $1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$. שהם 13 בהצגה דצימלית. 153 דצימלית יתקבל כ-10011001 בהצגה בינרית, שהם $2^7 + 2^4 + 2^3 + 2^0$.

נוסף על השערים הלוגיים הבסיסיים, נמצא ביחידה האריתמטית יחידות מורכבות יותר הבנויות משערים כאלה, וביניהן דלגלים (Flip-Flops), שהן יחידות-זיכרון אלקטרוניות דורמצביות, מסכמים לוגיים ויחידות-בקרה המפקחות על מהלך הזרימה של האינפורמציה וההתרחשויות במחשב כולו.

התכנות

המחשב, כפישתואר לעיל, כולל באורח עקרוני את כל הרכיבים והמכשירים המאפשרים לו לפעול. ואולם, כדי להפיק עילו בכל מקרה יש לספק לו את סדרת ההוראות המדוייקות שעליו לבצע. סדרת-ההוראות זו נקראת בשם התכנית (Program), ואוסף-התכניות מהווה את ספרייתו של המחשב. ברור, כי באורח עקרוני ניתן להפעיל כל מחשב מטיפוס מסויים בתנאים מגוונים ביותר, ולהעסיקו בפתירת בעיות מסוגים רבים. פעולות המחשב נבדלות זו מזו רק בתכנית לפיה יפעל המחשב בכל מקרה. ככל שגדולה יותר ספריית התכניות, כן עשירות יותר אפשרויותיו של המחשב. בגלל ההבדלים הקיימים בתכנון בין מחשב למחשב, לא ניתן בדרך כלל, להשתמש בתכנית שנכתבה למחשב מסויים — אלא במחשבים זהים לו. תכניות אלה נכתבות בשפת-מכונה (Machine Language).

הצורך בלימוד שפת המחשב מקשה על התכנתנים, וגורם לתלות — שבמקרים רבים אינה רצויה — בסוג המחשב

במחיריהם. כך, למשל, קיימים מחשבים שניתן להעמידם על שולחן-כתיבה, ואשר מחירם כ-30,000 לירות, ולעומתם קיימות מערכות-ענק, שמחירן מגיע ל-60,000,000 לירות ויותר.

הרכיבים והאריתמטיקה

במרכזו של המחשב נמצאת היחידה האריתמטית, המסוגלת, כאמור, לבצע בראש-ראשונה את הפעולה האלמנטרית של סיכום שני מספרים. נוסף על פעולה זו, ניתנה יחידה זו, בדרך כלל, בכושר לבצע עוד מספר רב של פעולות, הנחלקות לארבע קבוצות:

1. פעולות אריתמטיות (כגון חיסור, כפל וחילוק — בנוסף לסיכום);
2. פעולות לוגיות (כגון פעולות מיון ובחירה);
3. פעולות אינפורמציה (כגון הוות אינפורמציה או החלטות קבוצות את-סדר-ההצגה);
4. פעולות החסנה וקלט-פלט (האפשרות ליחידה האריתמטית להתקשר עם הזיכרון ועם המכשירים החיצוניים). מספר הפקודות, סוגיהן ואופיין משתנה ממחשב למחשב. ישנם מחשבים הכוללים ביחידה האריתמטית פקודות בודדות בלבד — ולעומתם כוללים מחשבים אחרים מאות רבות של פקודות.

היחידה האריתמטית בנויה בדרך כלל מיחידות אלקטרוניות, הפועלות כשערים לוגיים בסיסיים (logic gates); אלה מבצעים את פעולת החיתוך (כפל לוגי), ואת פעולת האיחוד (חיבור לוגי). המספרים, האינפורמציה הכמותית והאיכותית וההוראות — כל אלה מבוטאים במחשב בצורת מספרים. מסיבות טכניות מיוצגים מספרים אלה בשיטה הבינרית (Binary), שהיא שיטת הצגת ספרות דורמצביות. יחידת האינפורמציה הבסיסית בשיטה הבינרית היא הסיב (bit), המחליף את הספרה המקובלת בשיטה הדצימלית. הסיבה להצגה הבינרית (בניגוד להצגה הדצימלית, של עשרה מצבים 0,1,2,...,9, לה הורגלנו בחייומיום כתוצאה מקיומן של עשר אצבעות בשתי ידינו), נעוצה בענקה באופיין של

וכן ציוד קלס פלס בהתאם לאפשרויות היחידה המרכזית לקבל ולספק את האינפורמציה בקצב סביר. במחשב כזה ניתן, בדרך כלל להסתפק ביחידה אריתמטית בעלת תכונות פרי-מיטביות יחסית. לעומת זאת, מחשב ששימוש העיקרי הוא בעיבוד נתונים ובחישובים מדעיים מסובכים, יזדקק ליחידה אריתמטית משוכללת — אך ניתן יהא לחסוך במערכת הקלט-פלט. בשנים האחרונות, כתוצאה מן השכלולים הרבים בטכניקת המחשבים, נמצא שימוש אזרחי נוסף למחשבים ספרתיים — במערכות בקרה של תהליכים תעשייתיים בזמן אמיתי (Real Time Process Control Computer). מפעלים שונים, כימיים ומכניים, עוברים בהדרגה לשלב נרחב יותר ויותר במחשבים, לצורך בקרת תהליכי הייצור אמיתי. מערכות אלה מתאפיינות בכך, שבהן מחשב המחשב בפעולת המתקן התעשייתי, ועליו להתאים את קצב פעולתו לקצב המאורעות המתרחשים במפעל. לצורך שילוב המחשב במתקן התעשייתי יש צורך להוסיף למחשב את מערכת הקלט-פלט המתאימה, אשר תאפשר לו לקיים את הקשר הדרוש עם המתקן.

ובתכונותיו. על מנת להקל על התכנתנים, פותחו שפות משוכללות, שהן שפות אוטומטיות (Automatic Languages) ואוניברסליות יותר, המשחררות את התכנת במידה רבה מן התלות בסוג המחשב או במבנהו. לשם הפעלת תכנית הנכתבת בשפה כזאת (למשל, שפות Fortran — Formula — Algorithmic Language; Translator; Algol), קיימת בתוך המחשב מערכת תכניות (Compiler), המתרגמת את ההוראות הכתובות בשפה האוטומטית — לשפת-המכונה. ברור שכל שתשתכלל ותלך השפה האוטומטית, כן תקרב יותר ויותר לשפת-השימוש היומיומית של כותב התכנית — שפה מתמטית, הנדסית או מנהלית.

שימושי האזרחיים של המחשב

מבנה כל מערכת-מחשב והציוד שייכלל בה תלויים, כמובן, בשימושי, במטרותיו ובתנאי-פעולתו של המחשב בו מדובר. כך, למשל, מחשב אשר מטרתו למיין ולספק נתונים סטטיסטיים על אודות אוכלוסייתה של מדינה מסויימת יכלול זיכרון ראשי ומשני, בעלי גודל מתאים לאחסנת נתוני האוכלוסיה.

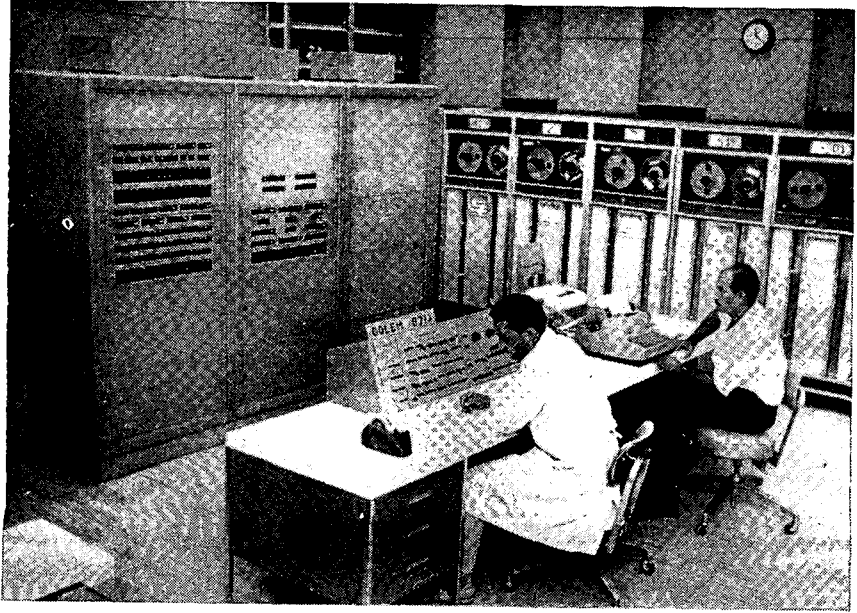
הפעילות התעשייתית בתחום המחשבים בישראל. מוקדי-פעילות הראויים לציון בי-הקשר זה הם מפעליה האלקטרוניים של התעשייה האווירית, וכן חברת „אלביט“, אשר הוציאה בשנה האחרונה לשוק את המחשב „אלביט 100“, היכול לשמש כמכשיר-עזר במערכות מעבדתיות או תעשיות. יש לקוות כי הפעילות הכוללת במחקר והוראה, פיתוח ובניה של מחשבים מתוצרת ישראל תהפוך לענף כלכלי חשוב ונכבד, העשוי לתרום תרומה חיובית לכלכלה הלאומית ולביטחון המדינה. אך עדיין רבה המלאכה לפנינו עד הגיענו להישגים של ממש.

המחשב „גולם ב״, העתיד עלות, בכושר-ביצועו ובתכונותיו, על קודמו, „גולם א״. הפעילות בתחום המחשבים ברשות לפיתוח אמצעי-לחימה שבמשרד הביטחון נמשכת מזה שנים רבות, וכוללת מחשבי-דימוי, מחשבים ספרתיים ומחשבי-דימוי ספרתיים (DDA). בין המחשבים שנבנו והופעלו בה מצויים מחשבים כלליים, לצורך שימוש עצי-מי של המהנדסים והמדענים במכוני-המחקר, כגון המחשב הספרתי „צברק“, וכן מחשבים שמצאו שימושים מיוחדים, למשל המחשב הספרתי-הכללי לשימוש צבאי מדגם מח״א, אשר סופק לצה״ל. בשנים האחרונות התרחבה במידה ניכרת

נוחשים בישראל

מספר המחשבים הספרתיים האלקטרוניים הפועלים כיום בישראל בשירותים כלי-ליים לעיבוד-נתונים מנהלי או מדעי הוא כמאה. מחשבים אלה, המשרתים את מערכת הממשל האזרחי והביטחוני, את מוסדות המדע והמחקר, הבנקים והחברות המסחריות והתעשייתיות, הם ברובם המכריע מתוצרת-חוץ — בעיקר ארה״ב. מכשירי בודדים הם מתוצרת בריטניה או אף מתוצרת ישראל.

מרבית המחשבים בארץ משתייכים למשפחות המחשבים הבינוניים והקטנים. מעט מאוד ידוע על מספרם של מחשבי-הדימוי האלקטרוניים ועל אופן השימוש בהם בארץ. ניתן למצוא במוסדות המדע והמחקר, ואף במוסדות התעשייתיים מתקדמים, אספקט נוסף של הפעולה בתחום זה בארץ, שאינו ידוע בציבור הרחב, הוא המחקר והפיתוח המקומיים והמקוריים בשדה המחשבים. עד לתקופה האחרונה התרכזה פעילות זו בעיקר בשני מקומות: מכון ויצמן למדע שברחובות, והרשות לפיתוח אמצעי-לחימה במשרד הביטחון. המחשב האלקטרוני הראשון שהופעל בי-ארץ, נבנה במסגרת המחלקה למתמטיקה שמושיה של מכון ויצמן למדע. מחשב זה, ה„וויאק“, השתייך למשפחת המחשבים שפותחה באוניברסיטת „כרינסטון“ ש-בארה״ב. למסורת זו של בניה עצמית במכון ויצמן היה המשך, משהופעל, בשנת 1965, מחשב משוכלל וגדול יותר — „הגולם“. מחשב זה מבוסס בתכנונו על המחשב „איליאק II“ (Illiac II), שנבנה באוניברסיטת „אילינוי“ שבארה״ב. צוות מדעני המכון עוסק כיום בפיתוח נוסף, שמטרתו — בניית



מחשב „גולם“ — מכון ויצמן למדע

המחשב במערכת המשק הצבאי

אספקטים רבים משותפים למערכת המשק הצבאי ולמשק האזרחי: הבעיות הסטטיסטיות ובעיות עיבוד הנתונים באשר למלאי, מיון האוכלוסיה, הפניית המשאבים, בעיות המודיעין וכיוצא באלה — אינן שונות מן הבעיות המרכזיות במשק האזרחי. לעתים קרובות, אמנם, גדול יותר היקפן של הבעיות במשק הצבאי, ועל מנת לפתור ניתן, אמנם, להשתמש במחשב-בים הדומים בעיקרם למחשבים המקובלים במשק האזרחי — אך יש צורך להתאים את היקפם לצרכים הצבאיים. טבעי הדבר, שבמערכות צבאיות-בטחוניות מודגשים במיוחד גורמי הזמן, הדחפיות והדיוק — וגישה זו מעודדת במיוחד את השימוש במערכות אוטומטיות לעיבוד נתונים.

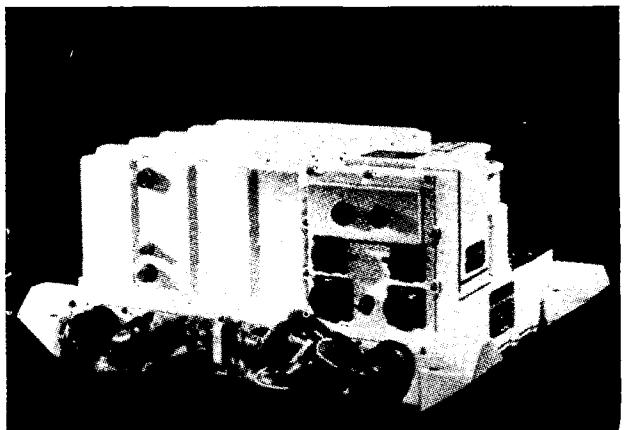
השיקולים המנחים בהכנסת המחשב לשימוש צבאי

בנוסף על השימושים שנסקרו בפרק הקודם, משמש המחשב כיום גם לשימושים צבאיים, "טהורים" רבים, בהם הוא משתלב במערכות-המשק; וסביר לצפות כי השימושים מסוג זה ירבו וילכו.

במערכת-המשק יכול המחשב לשמש אם כמכשיר-עוזר למפעילי-המשק בדרגים השונים (בדומה למחשב המשרת את המהנדס בחישובים ההנדסיים), או בבקרה אוטומטית בזמן אמיתי (בדומה לפעולתו בתוך מערכת-בקרה תעשייתית). אם ברצוננו לגלות את התחומים בהם יכול המחשב לתרום לשיפור ביצועיה של מערכת כלשהי, די — באורח עקרוני — לגלות את המקומות או השלבים בהם מתקבלות החלטות, נאגרת או נשלפת אינפורמציה מתוך מאגר, ונדרשת בקרה על פעולות האדם או המכונה. בכל אלה או בצירופיהם ניתן להכניס אוטומציה תוך שימוש במחשב. ברור, כמובן, שהשיקולים המדוייקים הכרוכים בהכנסת מחשב ספרתי למערכת צבאית או מערכת-משק כלשהי מגוונים ביותר, וכוללים אספקטים רבים — מבצעיים, טכניים, כלכליים ולוגיסטיים.

מאז תחילת פיתוחם של המחשבים והשימוש בהם קיימת מגמה ברורה של הוזלת מחיר המחשב תוך הגדלת כושרו הטכני לביצוע פעולות, יחד עם הגדלת מהימנותו — מחד

דגם מחשב ספרתי Atlas/Centaur מתוצרת Kearsfoot



גיסא, והקטנת משקלו ונפחו — מאידך גיסא. התפתחות זו תורמת, כמובן, להרחבת השימוש במחשבים. במקביל למגמה הקודמת, ובמידה מסויימת אף בעידודה, ניתן לעקוב אחר המגמה הכללית של שכלול מערכות המשק ההתקפתי וההגנתי ושיפורן, תוך נטייה לשימוש במערכות מורכבות ומהירות יותר ויותר, המחייבות, מן הבחינה הטכנית והמבצעית, שימוש במערכות-בקרה אוטומטיות משוכללות יותר, דהיינו — במחשבים.

באורח פרדוקסלי גורמת מורכבותן של מערכות-המשק לעידוד השימוש במחשבים, שכן במערכת מורכבת ניתן לאזן את משקל "חסרונות" השימוש במחשב (מחירו הגבוה והמאמץ הדרוש לאחזקתו השוטפת) — באורח יחסי למחיר המערכת הכוללת ולתרומתו של המחשב לשיפור הביצועים. מגמה נוספת, שבה ניתן להבחין לאחרונה, מתבטאת בדחיקת מחשב-הדימוי מתוך מערכות-המשק — והגברת השימוש במחשב הספרתי. לתופעה זו סיבות אחדות: מהימנות רבה יותר של רכיבים ספרתיים; נוחות באחזקה; מחיר זול יותר לפעולה מסויימת במכלול גדול; כושר-ביצוע משופר, המתבטא בדיוק וגמישות רבים יותר. במיוחד מתגלית תופעה זו, של דחיקת מחשב-הדימוי, במערכות משוכללות, בהן יש צורך במספר רב של מחשבים ויחידות אנלוגיות, המבצעים — כל אחד — מספר קטן של פעולות, ופועלים — לעתים קרובות — בזמנים שונים, תוך כדי פעולת המערכת. במקרה כזה ניתן להמיר את המחשבים והיחידות האנלוגיות במחשב ספרתי יחיד, דבר שהתאפשר כתוצאה מהגדלת מהירות הפעולה של המחשב, וכתוצאה מכך — יכולתו לטפל בעת ובעונה אחת במספר רב של פרמטרים, בדומה למתקן התעשייתי האזרחי.

מערכת של מטוס-הפצצה, למשל, זקוקה לשני מחשבים, האחד — לעריכת חישובי-ניווט, והאחר — לחישובי הפצצה. מחשבים אלה פועלים בזמנים שונים, הראשון — בעת התנועה למטרה ובדרך חזרה, ואילו השני — בעת ההתקפה. נוסף על מחשבים אלה עלולה מערכת המטוס להזדקק למחשבים נוספים, להפעלת מערכות-משק ולבקרת פעולת-המטוס (חישובי צריכת-דלק וכיוצא באלה). כל אחת מן הפעולות הללו מחייבת לרוב מחשב-דימוי נפרד — אך את כולן יחד מסוגל לבצע מחשב ספרתי יחיד, בעל מערכת קלט-פלט מתאימה. מחשב זה יכול בויכרונו, בצורת תכנית (Program), את האלגוריתמים הדרושים לביצוע החישובים השונים, ויעבור מביצוע פעולה אחת לפעולה אחרת, לפי הוראת הטייס או בצורה אוטומטית. טבעי הדבר, כי בשימושו הצבאיים של המחשב, בדומה לשימושו האזרחיים, יושם הדגש בכל מקרה על החלק או החלקים החיוניים ביותר — בעוד אשר חלקיו האחרים יצומצמו במידת האפשר, לעתים עד כדי התנוונות מוחלטת.

שימושים צבאיים של המחשב

ברשימת התחומים הצבאיים הצורכים מחשבים, נכללים: תותחנות-השדה; בקרת-אש בזמן אמיתי; ניווט; קשר (קומונד) ניקציה חוטית ואלחוטית); הצפנה; תצוגת נתונים; דיאגנוסטיקה; ואחזקה.

שיקולי מהימנות, ביטחון בפעולה וכדאיות יצדיקו, כמובן, לעתים חלוקת התפקידים בין מחשבים אחדים; אך תמיד תהא הנטייה להבטיח כיסוי הדדי בין המחשבים — כך שעם הפסקת פעולתו של מחשב כלשהו עקב תקלה, יוכלו המחשבים האחרים ליטול על עצמם את תפקידיהם, במלואם או בחלקם.

אפשר היה, כמובן, לשקול את אפשרות התאמתה של המערכת הימית גם למערכת תותחית-שדה — אך זוהי בעיה לוגיסטית בעיקרה, הכרוכה בתכנון מערכת-הנשק. דוגמה נוספת לשימוש אפשרי במחשב היא האפשרות להתקינו במערך הקשר של הצבא, תפקידו העקרוני של מערך זה הוא לשנע (להזיז ולהוביל) אינפורמציה; ולמרות שמבחינה עקרונית אפשרי משקלו של מטען זה, אין צורך למנות את הקשיים הרבים הכרוכים בפעולת השינוע. העברתו של פתק המכיל אינפורמציה מסויימת בין שתי יחידות סמוכות, נתקלת לעתים בקשיים רבים הנובעים כנראה בחלקם הגדול — מן האופי האנושי (שכחה, סחבת, חוסר פנאי, עייפות וכיוצא באלה). התקנת מערכת-מחשבים מאוחדת בתוך מערך הקשר תאפשר, כמובן, הקפדה אוטומטית על קצב העברת האינפורמציה, תוך בדיקה חוזרת לשם אישור הקבלה וביצוע ההוראות. מכאן מוביל שלב נוסף למערכת אוטומטית לחלוטין, שבה מוצא האדם מן המערך — והמחשבים הם הנותנים הוראות, מקבלים אותן, מבצעים ומאשרים את ביצוען...

לעתים ניתן להכניס את המחשב למערכת קיימת תוך שינויים מינימליים בלבד, ובמקרה זה אין שיטות העבודה וההפעלה משתנות — אך כתוצאה מיתרונותיו השונים של המחשב משתכללת המערכת, ומושג היסכון באמצעים ובכוח-אדם, דוגמה לשימוש כזה ניתן לראות בהכנסת מחשב למערכת תותחנית-שדה. אופי פעילותו של הצוות אינו משתנה, אך מושגים דיוק רב ומהימנות רבה בעריכת החישובים השונים, הכוללים פרמטרים גיאומטריים, בליסטיים ומטאוריולוגיים. המחשב במקרה זה הוא, למעשה, מכונת-חשבון משוכללת. אפשר, כמובן, לנצל את המחשב כבר בשלב זה גם לצורך חישובים לוגיסטיים של מלאי ותחזוקה, ועל-ידי כך לשחרר את הצוות מפעולות אלה.

נשוה את פעולתו של המחשב בדוגמה זו עם פעולתו של מחשב דומה בתפקיד בקרת-אש, שטח ונ"מ, באניה. כאן ניתן להתקין מערכת אוטומטית מלאה, בה מרכז המחשב את הנתונים ומאחד את הפעולות — החל מקבלת נתוני-מצב אוטומטיים מן המכ"מים וממכשירי-הגילוי האחרים, וכלה בהצגת הנתונים למפקד ולדרגים האחרים. כן מפעיל המחשב את מערכת הובלת התחמושת ומפקח עליה, מפעיל את מערכת קנייה-הירי, ובמידת הצורך אף מכניס תיקונים בהתאם לתוצאות הירי. מערכת כזאת היא אוטומטית לחלוטין, ובאורח עקרוני לא נותרת לאדם המפעיל אלא זכות הויטו, כל-כך מר — הזכות למנוע הפעלה. מחשב זה יכול לשמש גם לביצוע כל הפעולות הלוגיסטיות והארגוניות הרבות באניה.

ביבליוגרפיה מוצעת:

פעולתם של מחשבים ושימושיהם האפשריים. (2) מחשבים אלקטרוניים — כיצד הם פועלים. ג'יימס ד. פינסטוק, תרגום: אילנה ליכט. עריכה: אריה רונאל.
הוצאת "סדן" — בית הוצאה לאור בע"מ והמכון לפריון העבודה והייצור, 1967. תר"גום עברי של ספר שראה אור בארה"ב, ונוסף בו פרק על "מחשבים בישראל".
הספר כולו נכתב ברמה שתתאים לקורא ההדיוט; למרבה הצער נפלו בו שגיאות רבות.
3) Digital Computer Design
E. L. Braun, Academic Press Inc
1963.
ספר מקצועי מפורט, הדן בתכנון המחשבים.

הספרות שנכתבה בתחום המחשבים היא רבת-היקף, ומשתרעת על פני נושאים שונים — החל בתכנון הרכיבים ובניית המחשבים עצמם, וכלה בשירותים כלליים ושימושים ספציפיים. נזכיר כאן אחדים מן הספרים, הרי מתארים את מבנם של מחשבים ספרתיים כלליים ואת דרכי השימוש בהם.
1) "Faster Than Thought" edited by B. V. Bowden, Pitman & Sons, London, 1953.

ספר ישן, שנכתב בשפה האנגלית בידי מחברים מחלוצי המקצוע. למרות שחלקים מסויימים בתוכו התישנו כחלוף השנים, עדיין לא פג טעמם של חלקי האחרים, הכוללים בעיקר סקירה היסטורית, הסבר עקרונית-