

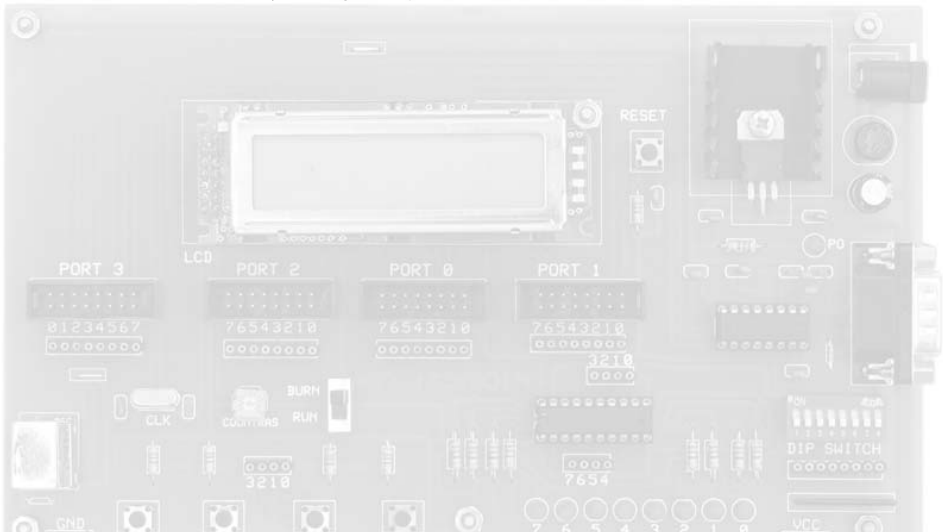
שי מלול

ספר לימוד

# מיקרו בקרים

## ממשפחת 8051 לפרויקטים

### בשפת אסמבלי



**הוצאת שורש**

הוצאת שורש (אלי מיטב) 052 – 2671210

email: [elmtv@netvision.net.il](mailto:elmtv@netvision.net.il)

web: <http://shoresh.sfarim.net>

## תוכן העניינים

11	.....הקדמה
12	טכנולוגיה הבקרים ממשפחת ה- 8051.....
13	ייעודו של הספר.....
14	מבנה הספר והמלצות ללומד.....
20	..... פרק 1: מבוא
21	מבוא למיקרו-בקרים ממשפחת 8051.....
22	מבנה של אריזת DIP של מיקרו-בקר 8051.....
23	פירוט הדקי הרכיב אריזת DIP של מיקרו-בקר 8051.....
24	מבנה הפנימי של מיקרו-בקר ממשפחת 8051.....
25	השוואה בין סוגי מיקרו-בקרים ממשפחת 8051.....
26	חיבור מקור מתח למיקרו-בקר.....
26	חיבור מעגל איפוס – Reset למיקרו-בקר.....
28	חיבור מעגל אקטיבי ליצירת אות שעון.....
29	יחידת עיבוד מרכזית CPU.....
31	מבנה הפורט של הרכיב.....
32	קווי ה-Bus של המיקרו-בקר.....
33	חיבור בין מיקרו-בקר 8051 לרכיב זיכרון חיצוני מסוג ROM.....
34	חיבור בין מיקרו-בקר 8051 לרכיב זיכרון חיצוני מסוג RAM.....
34	המקטעים (segments) וסוגם.....
35	כלי פיתוח לסביבת עבודה 8051.....
36	מבוא למיקרו-בקר ממשפחת 89C51.....
37	פירוט הדקי הרכיב אריזת DIP של מיקרו-בקר 89C51.....
38	מבנה של אריזת DIP של מיקרו-בקר 89C51.....
39	מבנה הפנימי של מיקרו-בקר 89C51.....
40	מבנה הפנימי של היחידות CPU ו-ALU.....
40	הסבר על הרגיסטרים.....
41	הסבר על הדגלים.....
42	הסבר על רגיסטרים כללים ובנקים.....
43	הסבר על עמודת הדגלים.....
43	הסבר כיצד ניתן לכתוב הערות בתוכנת.....
44	כתיבה וקריאה מהפורט.....
47	..... פרק 2: הכרת מערכת הפיתוח $\mu$ vision
48	כיצד בנויה תכנית בשפת אסמבלי של 8051.....
50	מבוא לסימולציה וקומפילציה.....
51	הפעלת תוכנת $\mu$ Vision.....
52	פתיחת פרוייקט והוספת.....
54	כתיבת תוכנית עם עורך טכסטים.....
56	קובץ לפרוייקט.....
58	ביצוע קומפילציה לפרוייקט.....

65	יצירת קובץ HEX לצריבה.....
66	הרצת סימולציה לפרוייקט.....
<b>74</b>	<b>פרק 3: פקודות בסיסיות של המיקרו-בקר .....</b>
75	פקודות MOV ו-SETB.....
76	פקודת ADD.....
77	פקודת ADDC.....
78	פקודות CLR ו- SUBB.....
81	פקודות INC ו-DEC.....
84	פקודת MUL.....
85	פקודת DIV.....
87	הנחיה EQU.....
88	תרגול .....
<b>89</b>	<b>פרק 4: פקודות קפיצה ולולאות .....</b>
90	פקודת קפיצה JMP.....
90	כללים לכתיבת תווית Lable.....
92	לולאה אינסופית.....
94	פקודות קפיצה המושפעות מרגיסטר A.....
95	פקודת קפיצה JZ.....
96	פקודת קפיצה JNZ.....
97	פקודות JC ו- JNC.....
99	פקודת השוואה CJNE.....
101	פקודת DJNZ.....
102	טבלת סיכום פקודות קפיצה עם תנאי.....
103	תרגול .....
<b>104</b>	<b>פרק 5: שימוש בפקודות לוגיות ועבודה עם סיביות .....</b>
105	פקודות לוגיות .....
106	פקודה ANL.....
107	פקודה ORL.....
108	פקודה XRL.....
109	פקודה CPL.....
110	פקודה SWAP.....
111	פקודה DA.....
112	פקודה RL.....
113	פקודה RLC.....
114	פקודה RR.....
115	פקודה RRC.....
117	טבלת סיכום הפקודות לוגיות .....
118	עבודה עם Bank שונים .....
122	פניה לסיביות (bits) .....
122	פקודות השמה למשתנים מסוג bit.....

123	.....	פקודות JBC ,JB ,JNB
125	.....	פקודת NOP
125	.....	יצירת השהיות בעזרת פקודות
126	.....	הפעלת Logic Analyzer פנימי שמובנה בכלי הפתוח
142	.....	הכרת תוכנת צריבה Flash Magic של חברת Philips
152	.....	ריכוז פקודות שניתן לבצע על סביות
153	.....	תרגול
<b>156</b>	<b>.....</b>	<b>פרק 6: זיכרונות</b>
157	.....	מבנה הזיכרון במיקרו-בקר
158	.....	מבנה זיכרון ה-ROM בבקר
159	.....	הגדרת קבוע בזיכרון ROM
162	.....	מערכים בזיכרון ROM
164	.....	רגיסטר DPTR
166	.....	פקודת MOVC
168	.....	מחרוזות והגרתם בזיכרון ה-ROM
170	.....	הגדרת משתנים בזיכרון ה-RAM
170	.....	טבלת תחום הכתובות ואפשרות הגישה אל יחידות זיכרון ה-Ram
171	.....	זיכרון DATA
171	.....	מבנה זיכרון ה-DATA
172	.....	הגדרת משתנים בזיכרון data
173	.....	מיעון ישיר
177	.....	מיעון עקיף
180	.....	הגדרה של משתנה מסוג BIT בזיכרון RAM
181	.....	פקודות לאתחול משתנים מסוג bit
183	.....	פקודות קפיצה המושפעות ממשתנים מסוג bit
185	.....	זיכרון IDATA
185	.....	מבנה זיכרון IDATA
186	.....	הגדרת משתנים בזיכרון IDATA
190	.....	זיכרון XDATA
190	.....	מבנה זיכרון XDATA
190	.....	הגדרת משתנים בזיכרון XDATA
191	.....	פקודת MOVX
194	.....	פקודת XCH
196	.....	מיון בועות
200	.....	סיכום פעולות פניה לזיכרון הבקר
201	.....	תרגול
<b>202</b>	<b>.....</b>	<b>פרק 7: מחסנית ופרוצדורות</b>
203	.....	מחסנית
203	.....	הגדרת מחסנית
204	.....	פקודת PUSH
204	.....	פקודת POP

214	פרוצדורות
215	קריאה לפרוצדורה
216	פקודת RET
220	כתיבת פרוצדורות בקבצים נפרדים
222	שימוש במשתנים אשר מוגדרים בפונקציות השמורות בקובץ אחר
224	הוספת קבצים לפרוייקט
233	תרגול
<b>234</b>	<b>פרק 8: חיבור מתגים למיקרו-בקר ומניעת ריטוטים</b>
235	צורת חיבור אפשריות של מתג למערכת ספרתית
236	מניעת ריטוטים בחומרה באמצעות Latch
239	מניעת ריטוטים בחומרה באמצעות Scmitt-Trigger
242	מימוש מערכת de-bounce בתוכנה
243	דוגמאות לתוכניות שמשמות למניעת ריטוטים
251	תרגיל מסכם
<b>252</b>	<b>פרק 9: כתיבה לתצוגת LCD</b>
253	מבוא לתצוגה LCD
254	מבנה התצוגה
255	פירוט הדקי הרכיב אריזת התצוגה
258	פקודות בקרה של התצוגה
259	הסבר על הפונקציות הסטנדרטיות לתפעול התצוגה
273	קוד הפונקציות
282	תוכנית דוגמא לכתיבת הודעה על גבי תצוגת ה-LCD
284	תוכנית דוגמא לכתיבת הודעה תו אחר תו
285	תוכנית דוגמא להופעת הסמן
286	תוכנית דוגמא להבהוב הסמן
287	תוכנית דוגמא להפעלה וכיבוי המסך
288	תוכנית דוגמא להעברת הסמן לתחילת התצוגה
290	תוכנית דוגמא לניקוי מסך התצוגה
291	תוכנית דוגמא למחיקת תו אחד
293	תוכנית דוגמא לכתיבת הודעה החל משורה שנייה
294	תוכנית דוגמא להזזת הסמן התצוגה אחורה
295	תוכנית דוגמא להזזת הסמן התצוגה קדימה
296	תוכנית דוגמא להורדת הסמן לשורה השנייה תוך שמירה על מיקום הסמן
296	תוכנית דוגמא להעברת הסמן לשורה הראשונה תוך שמירה על מיקום הסמן
297	טבלה סיכום פונקציות התצוגה
298	תרגול
<b>299</b>	<b>פרק 10: חיבור לוח מקשים 4x4 למיקרו-בקר</b>
300	מבוא לוח מקשים
300	מבנה לוח המקשים
301	סריקת לוח מקשים בשיטת אפס רץ
302	הסבר על הפרוצדורה לסריקת מקשים
308	פרוצדורה לסריקת לוח המקשים

310	.....	כתיבת מספרים שנקלטים מלוח המקשים והצגתם בתצוגה
311	.....	סימולציה לקובץ קליטת מספרים מלוח מקשים
315	.....	דוגמא לשימוש במקש D למחיקת תווים מהתצוגה
316	.....	תוכנית דוגמא לניהול הודעות בעזרת לוח מקשים
321	.....	תוכנית מחשבון המבצעת פעולת חיבור בעזרת לוח מקשים
329	.....	תרגול

**פרק 11 : עבודה עם פסיקות** .....

330	.....	מבוא לפסיקות
331	.....	ההבדלים בין שיטת הסריקה לשיטת הפסיקה
332	.....	טבלת מקורות פסיקה
333	.....	רגיסטר IE
333	.....	רגיסטר TCON
334	.....	כתיבת שגרת פסיקה
335	.....	פקודת RETI
336	.....	דוגמא לתוכניות המשתמשות בפסיקה חיצונית מספר 0
337	.....	הרצת סימולציה לתוכנית אשר מחוברת לפסיקה חיצונית 0
338	.....	חיבור פסיקה חיצונית מספר 0 ללוח התרגול
339	.....	דוגמא לתוכניות המשתמשות בפסיקה חיצונית מספר 1
342	.....	הרצת סימולציה לתוכנית אשר מחוברת לפסיקה חיצונית 1
343	.....	חיבור פסיקה חיצונית מספר 1 ללוח התרגול
344	.....	דוגמא לתוכנית המשתמשות בשתי הפסיקות בפרוייקט
346	.....	דוגמא לתוכנית ששגרת הפסיקה כתובה בקובץ נפרד
346	.....	סדר עדיפויות של קבלת פסיקה
349	.....	שינוי סדר קבלת בקשות הפסיקה
350	.....	רגיסטר IP
350	.....	דוגמאות לתוכניות המשנות את סדר קבלת הפסיקות
351	.....	תרגול
358	.....	

**פרק 12 : הפעלת מונים ברי תכנות** .....

359	.....	מבוא למונה
360	.....	רגיסטר טיימר 0
360	.....	רגיסטר טיימר 1
360	.....	רגיסטר TMOD
361	.....	אופן העבודה של המונים
362	.....	הסבר מבנה המונים
362	.....	רגיסטר TCON
365	.....	חישוב זמנים ליצירת השהיה במונה
366	.....	דוגמא ליצירת השהיה
367	.....	בדיקת השהיה בזמן הרצת הסימולציה בחלון logic Analyzer
369	.....	שגרת פסיקה של מונים
375	.....	דוגמאות לתוכניות המשתמשות בשגרת פסיקה של מונה
377	.....	תרגול
386	.....	

387	..... <b>פרק 13 : עבודה עם תקשורת טורית והתחברות למחשב PC</b>
388	..... מבוא לתקשורת טורית
389	..... תקן RS232
391	..... המשדר ומבנה התשדורת הטורית של UART
393	..... מידע חשמלי ופיסי נוסף על RS232
394	..... סכימת החיבור של רכיב MAX232
395	..... רגיסטר SCON
397	..... רגיסטר SBUF
397	..... דוגמא לשליחת תו בתקשורת טורית
401	..... דוגמא לשליחת הודעה בתקשורת טורית
403	..... דוגמא לשליחת תו בתקשורת טורית על ידי שימוש בפסיקה
404	..... דוגמא לשליחת הודעה בתקשורת טורית על-ידי פסיקה
407	..... דוגמא לקבלת מידע בתקשורת טורית
409	..... דוגמא לקבלת מידע בתקשורת טורית על ידי שימוש בפסיקה
411	..... בדיקת המחשב והכבל המוצלב באמצעות LoopBack
413	..... מבוא להפעלת Terminal (מסוף)
414	..... פעולות בסיסיות שתכניות Terminal מבצעות
417	..... יצירת תקשורת טורית לבדיקת המערכת באמצעות התכנית COMSH
422	..... יצירת תקשורת טורית לבדיקת המערכת באמצעות התוכנה Tera-Term
425	..... יצירת תקשורת טורית לבדיקת המערכת באמצעות התוכנה PuTTY
427	..... יצירת תקשורת טורית עם HyperTerminal
430	..... יצירת תקשורת טורית בתוכנת Labview
441	..... תרגול
442	..... <b>פרק 14 : דוגמאות להרצת סימולציה לשאלות מה"ט בנושא 8051</b>
443	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד מרץ 05
447	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד יולי 05
451	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד יולי 06
445	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד יולי 07
460	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד אביב 08
465	..... פתרון שאלה מס' 6 ממבחן מה"ט מועד יולי 08
470	..... <b>פרק 15 : פרוטוקול I2C</b>
471	..... פרוטוקול I2C
472	..... פעולות בסיסיות ברמת הביטים
473	..... הרגישות לתדרים ותזמונים של ה-BUS
474	..... פעולת כתיבה וקריאה ברמת ה-Bytes
476	..... רכיב I2C-Master
477	..... הסבר פונקציה START והרצת סימולציה
480	..... הסבר פונקציה STOP והרצת סימולציה
482	..... הסבר פונקציה WRITE והרצת סימולציה
491	..... הסבר פונקציה READ והרצת סימולציה

500	..... סיכום תקשורת בפרוטוקול I2C
501	..... חיבור התקני I/O בעזרת רכיבים חיצוניים למיקרו-בקר
501	..... חיבור בין המיקרו-בקר לרכיב 8255
502	..... רכיב הרחבה PCF8574 הפועל בפרוטוקול I2C
502	..... מבנה של אריזת DIP של רכיב PCF8574
503	..... מבנה הפנימי של רכיב PCF8574
503	..... פירוט הדקי הרכיב אריזת DIP של רכיב PCF8574
504	..... סכימת החיבור של לוח מקשים 4x4 ושמונה led's לרכיב הרחבה
504	..... הסבר תוכנית להפעלת שמונה LED's שחוברו לרכיב הרחבה
508	..... סכימת החיבור בין לוח התרגול לבין לוח Wire Wrap שמכיל רכיבי הרחבה
509	..... סריקת לוח מקשים שמחובר לרכיב הרחבה
519	..... רכיב טמפרטורה TC74 הפועל בפרוטוקול I2C
520	..... תרגול

## **פרק 16 : פרוטוקול PS2**.....

521	..... פרוטוקול PS2
522	..... מבוא ונתונים על הממשק בין מקלדת PS/2 ו Host ברמת ה - bit
523	..... בדיקת חיבור מקלדת ללוח התרגול
524	..... הסבר על פרוצדורה זיהוי מקש
527	..... שיטות לבדיקת זוגיות
529	..... מבוא לתשדורת של המקלדת ברמת ה - byte
533	..... טבלת המידע המשודר מהמקלדת ומקודד ב- scan code
542	..... תרגול
545	..... המרת מקוד scan code לקוד ASCII
546	..... טבלה המשמשת להמרה של אותיות קטנות ומספרים
548	..... טבלה המשמשת להמרה של אותיות גדולות ותווים (Caps lock)
549	..... תוכנית להצגת אותיות ומספרים שנקלטים מהמקלדת על התצוגה
552	..... תרגול
555	.....

## **פרק 17 : פרוטוקול SPI**.....

556	..... פרוטוקול SPI
557	..... מבנה התשדורת בפרוטוקול
558	..... הרגישות לתדרים ותזמונים של ה - BUS
558	..... רכיב SPI-Master
558	..... צורת החיבור של Master אחד לכמה רכיבי Slave
559	..... פונקציה SPI_WAIT
559	..... פונקציה read_write_spi
560	..... חיבור זיכרון חיצוני הפועל בפרוטוקול SPI
567	..... רכיב זיכרון 25AA256 הפועל בפרוטוקול SPI
567	..... מבנה של אריזת DIP של רכיב 25AA256
567	..... פירוט הדקי הרכיב אריזת DIP של רכיב 25AA256
567	..... טבלה המרכזת את הוראות הכתיבה והקריאה מרכיב הזיכרון
567	..... הסבר על תהליך הכתיבה
568	.....



569	..... הסבר על תהליך הקריאה
573	..... דוגמא לתוכנית שמבצעת כתיבה וקריאה מרכיב זיכרון 25AA256
576	..... סכימת החיבור בין לוח התרגול לרכיב הזיכרון 25AA256
578	..... תרגיל מסכם
578	..... חיישן הטמפרטורה LM74
579	..... רעיון לפרוייקט ב-SPI
<b>580</b>	<b>..... פרק 18 : שילוב בין כתיבה בשפת אסמבלי ושפת C</b>
581	..... מבוא לשפת C
582	..... קבצי כותרת
585	..... כתיבת תוכנית למיקרו-בקר ממשפחת 8051 בשפת C
587	..... פקודות בסיסיות בשפת C
594	..... כללים לשילוב כתיבה בין שפת C לשפת אסמבלי
595	..... דוגמאות לתוכניות המשלבות קבצים הכתובים בשתי השפות
606	..... תרגיל מסכם
<b>607</b>	<b>..... פרק 19 : נספחים</b>
608	..... פקודות המשפעות על הדגלים
609	..... טבלת לריכוז פקודות חשבוניות
610	..... טבלת לריכוז פקודות לוגיות
611	..... טבלת לריכוז פקודות השמה וטבלה ריכוז פקודות קפיצה
612	..... טבלה לריכוז פקודות השמה על משתנים מסוג BIT
613	..... טבלת כתובות הרגיסטרים
614	..... הבדלים בין מיקרו-בקר 8051 למיקרופרוססור 8086
615	..... טבלת ASCII

# הקדמה

ספר זה מתמקד במיקרו-בקרים ממשפחת ה - 8051 ובעיקר בנגזרות המודרניות שלו שנקראות – 89C51. הנגזרות המודרניות של מעבד זה, מיוצרות כיום על יד חברות רבות, כגון:

Analog Devices ,Oki ,SST ,Hynix ,TDK ,TI ,Infineon ,Philips ,Dallas ,Atmel , Winbond ,ST Microelectronics ,ISSI ,Cypress ,Acer Lab והן גרסאות משופרות של הארכיטקטורה המקורית של חברת אינטל. בקרים אלו שימושיים בפרויקטים מעשיים רבים בתעשייה. מדובר באחד מהבקרים הנפוצים ביותר בתעשיית האלקטרוניקה!

בספר זה, תלמד על הארכיטקטורה של בקרים אלו. כמו כן, הספר עוסק בהרחבה רבה בשפת האסמבלי של הבקר, שהיא זהה בכל הבקרים של המשפחה.

למיקרו בקרים ממשפחת ה - 8051 קיימות מערכות פיתוח (Development Systems) מאוד משוכללות, שרצות תחת Windows. מדובר בדרך כלל בסביבות עבודה שכוללות בתוכן באופן מובנה, מספר כלי תוכנה (Integrated Design Environment) כגון: Editor, מערכת ניהול פרויקטים, תכנית אסמבלר, קומפיילר משפות גבוהות (כמו C), מקשר (Linker), סימולאטור גרפי ומנפה שגיאות (Debugger). כלים אלו מאפשרים לפתח פרויקטים מורכבים בזמן קצר יחסית, ועוזרים ללומד להכיר את הארכיטקטורה ושפת האסמבלי של הבקר הנלמד. מדובר בכלים של חברות כדוגמת: Keil, Raisonance, Hi-Tech Software, SPJ Systems, Avocet Systems, Crossware, BiPOM Electronics וכלים דומים של חברות אחרות. לכלי תוכנה מסוג זה יש בדרך כלל גם גרסאות חופשיות מוקטנות או גרסאות מאוד מוזלות למוסדות לימוד. בדרך כלל הלומדים יכולים גם לתרגל בעצמם בבית באמצעות גרסאות מיוחדות לסטודנטים. ניתן למצוא באינטרנט גם מגוון כלי תוכנה נפרדים (כגון אסמבלר, קומפיילר, סימולטור), שהם חופשיים וניתנים להורדה (למשל: JSIM-51, ASEM-51, SDCC, Crimson). עבודה עם כלים נפרדים היא כמובן פחות נוחה.

בספר זה בחרנו להתמקד בכלי הפיתוח  $\mu$ Vision של חברת Keil, שנחשב לאחד מכלי הפיתוח החזקים ביותר והנפוצים ביותר בתעשייה. כל התרגילים בספר זה ניתנים להרצה באמצעות גרסת הסטודנטים של הכלי, שניתנת להורדה באתר הבא:

[www.keil.com/demo/eval/c51.htm](http://www.keil.com/demo/eval/c51.htm)

למרות מה שנאמר כאן, גם לומדים שברשותם כלי פתוח אחרים יוכלו להפיק מספר זה תועלת רבה.

פיתוח של פרויקטים עם בקרים משלב לעתים קרובות בין כתיבה בשפת אסמבלי ושפת C. ספר זה עוסק כאמור בעיקר בשפת האסמבלי. ספר נוסף שיתלווה לספר זה, הנקרא: **"ספר לימוד מיקרו-בקרים ממשפחת 8051 לפרויקטים – בשפת C"**, יעסוק בהרחבה רבה בלימוד השפה (Embedded C) ובפתוח פרויקטים בשפה זו.

רכיבים ישנים של משפחת ה - 8051 תוכנתו בעבר באמצעות צריבת רכיב זיכרון חיצוני מסוג EPROM. בנגזרות המודרניות של רכיבים אלו, רכיבים המכילים באופן מובנה בתוכם זיכרון מסוג Flash. ניתן לצרוב רכיבים אלו באופן ישיר ובנוחות רבה - מבלי שיש צורך לשלוף אותם מהלוח. הספר מדגים שימוש בתוכנות צריבה Flash Magic של חברת Philips שניתן להורידה חינם באינטרנט. למרות הבחירה הנ"ל ניתן לצרוב רכיבים של חברות מקבילות באופן דומה.

ספר זה הינו ספר מעשי ומטרתו העיקרית היא ללמד את שפת האסמבלי, ממשפחת מיקרו-בקרים 8051. כמו כן, ספר זה מקנה את הידע הדרוש להכנת פרויקט. יתרה מכך, ניתן להשתמש בדוגמאות ובקודים המוצגים בספר, לשם הכנת פרויקטים בתחום המיקרו-בקרים.

הקניית הידע בספר זה מתבצעת על ידי תרגול מובנה, שנעשה הן באמצעות סימולציה והן באמצעות הרצה על לוח תרגול, תוך מתן הסברים רבים ודוגמאות.

ספר זה יסייע להנדסאים ומהנדסים לבצע היכרות מעמיקה עם אחד מהמיקרו-בקרים, הנפוצים ביותר בתעשייה.

הספר מתאים לשימוש כספר לימוד לסטודנטים במכללות של מה"ט ומשרד החינוך, במכללות אקדמיות ובאוניברסיטאות הן במעבדות והן מקצועות תיאורטיים.

הקורא ייחשף בספר לנושאים מגוונים, כגון:

- ◆ מבנה הבסיסי של משפחת מיקרו-בקר 8051 ונגזרות מודרניות של 89C51.
- ◆ הכרת מערכת הפיתוח μVision.
- ◆ הכרת פקודות שפת האסמבלי וכתיבת תוכניות.
- ◆ יצירת פרויקט והירכייה.
- ◆ צריבת פרויקטים לכרטיס התרגול.
- ◆ כתיבת תוכניות שונות להפעלת נוריות LED.
- ◆ חיבור מתגים וקריאתם ומניעת ריטוטים.
- ◆ עבודה עם רכיבי זיכרון פנימיים של המיקרו-בקר.
- ◆ כתיבת פונקציות והגדרת מחסנית.
- ◆ כתיבה לתצוגת LCD.
- ◆ סריקת לוח מקשים (למשל לוח מקשים 4X4).
- ◆ עבודה עם פסיקות.
- ◆ הפעלת מונים ברי תכנות וטיימרים.
- ◆ עבודה עם תקשורת טורית והתחברות למחשב PC.
- ◆ כיצד ניתן לבצע סימולציה לשאלות של מה"ט בנושא 8051
- ◆ פרוטוקול I2C ודוגמאות לרכיבים שונים כולל רכיבי הרחבה.
- ◆ התחברות למקלדת בפרוטוקול PS2 ודוגמאות לקריאת תווים מהמקלדת.
- ◆ פרוטוקול SPI ודוגמאות לכתיבה וקריאה מרכיבי זיכרון.
- ◆ שילוב בין כתיבה בשפת האסמבלי ושפת C.

הגישה המקובלת בקורסים רבים במיקרו-בקרים, במכללות ובאוניברסיטאות, היא לחשוף את הלומד לנושא זה, **תחילה באמצעות שפת האסמבלי**. תיאורים בשפת אסמבלי נחשבים לקרובים יותר לעולם החומרה (בהשוואה לתיאור בשפות גבוהות). לעומת זאת, פרויקטים שנעשים באופן מעשי באקדמיה ובתעשייה, נעשים בדרך כלל בשילוב בין שפת האסמבלי ושפת C או ++C. במלים אחרות, החשיפה לשפות הגבוהות נעשית בדרך כלל בשלב מאוחר יותר של הלימוד, כאשר הלומד נמצא בשלב פיתוח פרויקטים. בשלב זה, הלומד מכיר את יתרונותיהם של השפות הנ"ל. ספר זה עוסק בשפת האסמבלי ומציג גם את נושא השילוב עם שפת C בפרק 18 בלבד. לימוד **מלא** של כתיבת תוכניות בשפת C, יעשה כפי שנאמר קודם, בספר נוסף שנקרא "ספר לימוד מיקרו-בקרים ממשפחת 8051 לפרויקטים בשפת C".

להלן רשימת הפרקים שבספר :

1. מבוא.
2. הכרת מערכת הפיתוח  $\mu$ vision.
3. פקודות בסיסיות של המיקרו-בקר.
4. פקודות קפיצה ולולאות.
5. שימוש בפקודות לוגיות ועבודה עם סיביות.
6. זיכרונות.
7. מחסנית ופרוצדורות.
8. חיבור מתגים למיקרו-בקר ומניעת ריטוטים.
9. כתיבה לתצוגת LCD.
10. חיבור לוח מקשים 4x4 למיקרו-בקר.
11. עבודה עם פסיקות.
12. הפעלת מונים ברי תכנות.
13. עבודה עם תקשורת טורית והתחברות למחשב PC.
14. דוגמאות להרצת סימולציה לשאלות מה"ט בנושא 8051.
15. פרוטוקול I2C.
16. פרוטוקול PS2.
17. פרוטוקול SPI.
18. שילוב בין כתיבה בשפת אסמבלי ושפת C.
19. נספחים.

בפרק 1, נעשית היכרות בסיסית עם החומרה של המיקרו בקר. בפרק זה תלמד כיצד בנוי הבקר באופן פנימי וכיצד מחברים אותו לרכיבים חיצוניים. כמו כן, בפרק זה תכיר כמה מההבדלים הקיימים בין המשפחות של 8051 ו 89C51.

בפרק 2, תבצע היכרות בסיסית עם מערכת הפיתוח Vision μ. הפרק דן בכמה מהיכולות המרכזיות של מערכת הפיתוח כגון: פתיחת פרויקט, כתיבה עם עורך טכסטים, קומפילציה, סימולציה, יצירת קובץ לצריבה. בנוסף לכך פרק זה עוסק בהכרת המבנה הבסיסי של תכנית בשפת האסמבלי.

פרק 3 עוסק בהכרת פקודות בסיסיות של המיקרו-בקר. פקודות אלו יאפשרו לך לכתוב תוכניות מורכבות יותר מזו שכתבת בפרק 2. בפרק זה תכיר פקודות השמה, ופעולת חשבוניות כגון: MOV, SETB, CLR, ADD, ADDC, SUBB, INC, DEC, MUL ו-DIV.

פרק 4 עוסק בפקודות קפיצה ובלולאות. בפרק זה גם תלמד כיצד ניתן להגדיר תווית (Label). בנוסף לכך תכיר פקודות כגון: JMP, SJMP, LJMPL, JZ, JNZ, JC, JNC, CJNE, DJNZ פקודות אלו יסיעו לך ליצור לולאות ולכתוב תוכניות יותר מורכבות ויעילות.

פרק 5 מחולק לארבעה חלקים:

בחלק הראשון של הפרק תלמד פקודות לוגיות ופקודות הזזה כגון: ANL, ORL, XRL, CPL, SWAP, DA, RL, RLC, RRL, RR, RRC

החלק השני של הפרק עוסק בעבודה עם בנקים (Banks) שונים. בחלק זה תלמד על מבנה הבנקים בזיכרון וחשיבותם וכיצד ניתן לשלבם בכתיבת תוכניות.

החלק השלישי בפרק עוסק בפקודות המטפלות בסיביות (Bits) בודדות. בחלק זה תלמד כיצד ניתן לפנות לסיבית מסוימת מרגיסטר ACC או מפרוט מסוים. כמו כן, תלמד כיצד ניתן ליצור לולאות המושפעות מסיביות. בנוסף לכך חלק זה מבצע הכרות עם כלי מאוד חשוב של תוכנת ה-Vision μ. מדובר ב- Logic Analyzer פנימי שמובנה בכלי הפתוח. כלי זה מאפשר לסמלץ תכניות מורכבות יותר, כולל בדיקה של זמני הבצוע.

בחלק הרביעי של הפרק נלמד כיצד להשתמש בתוכנת הצריבה Flash Magic של חברת Philips, לשם צריבת פרויקט ללוח התרגול.

פרק 6 עוסק בזיכרונות של המיקרו בקר. בפרק זה תכיר את מבנה הזיכרון של הבקר ותלמד כיצד ניתן להגדיר ולקרוא נתונים מזיכרון ה-ROM. בנוסף, תלמד כיצד ניתן להגדיר, לכתוב ולקרוא נתונים בזיכרון RAM פנימי וזיכרון RAM חיצוני. כמו כן, פרק זה עוסק בהגדרת משתנים מסוג Bit בזיכרון ה-RAM. בנוסף לכך, תלמד בפרק זה על שיטות מיעון ישיר ועקיף, שיטת מיון בועות ושימוש במצביעים.

פרק 7 עוסק במחסנית ובכתיבת פרוצדורות. השימוש בפרוצדורות מאפשר לכתוב תוכנית מודולרית. המחסנית היא המרכיב המרכזי בחומרה שמאפשר להשתמש בפרוצדורות. החלק שעוסק במחסנית דן במבנה המחסנית וכיצד ניתן להשתמש בה בצורה יעילה. בחלק שעוסק בפרוצדורות תלמד גם כיצד ניתן להגדיר ולכתוב פרוצדורות ומשתנים בקובץ משותף ובקבצים נפרדים. בנוסף לכך תכיר מספר פקודות חשובות, בהן:

PUSH, POP, RET, CALL, ACALL, LCALL, PUBLIC, EXTRN

פרק 8 עוסק בחיבור מתגים, ככניסות המאפשרות שליטה של המשתמש על הפרויקט. מתגים אלו הם מכניים, לכן בכל שינוי של מצב המתג מתרחשת תופעה של ריטוטים. ריטוטים אלו משנים את מצב המתג מפתוח לסגור ומסגור לפתוח לסירוגין, מספר לא ידוע ולא קבוע של פעמים למשך זמן קצר ולא קבוע. בפרק זה, תכיר טכניקות שימושיות למניעת ריטוטים, שבהם תוכל להשתמש בפרויקטים.

פרק 9 עוסק בתצוגת LCD. זוהי אחת מהתצוגות הנפוצות ביותר בפרויקטים שנעשים עם מיקרו בקרים. בפרק זה תכיר את הדקי התצוגה ואופן פעולתם. בנוסף לכך פרק זה בונה מערכת של פונקציות סטנדרטיות שיאפשרו לך במהלך לימוד הספר לכתוב לתצוגה בצורה קלה ונוחה. פונקציות אלו כוללות פעולות כגון: אתחול התצוגה, כתיבת תו, מחיקת תו, ניקוי מסך התצוגה, הצגת הסמן, הבהוב הסמן, הפעלה וכיבוי של המסך, העברת הסמן לתחילת התצוגה, העברת הסמן לשורה השנייה, הזזת סמן התצוגה אחורה, הזזת סמן התצוגה קדימה, הורדת הסמן לשורה השנייה תוך שמירה על מיקום הסמן והעברת הסמן לשורה הראשונה תוך שמירה על מיקום הסמן. לימוד השימוש בפונקציות מתבצע על ידי הסבר וצריבת תוכניות לדוגמה על לוח התרגול.

פרק 10 עוסק בחיבור לוח מקשים 4x4 למיקרו-בקר. חיבור זה יאפשר לך למשל, ליצור תפריטים שונים בפרויקטים. בפרק זה נראה כיצד ניתן לכתוב תוכניות אשר יבצעו סריקה של לוח המקשים בשיטת אפס רץ. לימוד השיטה יעשה על ידי הסברים וסימולציה בתוכנת  $\mu$ Vision. הפרק כולל גם דוגמאות לתוכניות שונות, המופעלות בעזרת לוח מקשים והן כמובן ניתנות לצריבה על גבי לוח התרגול.

פרק 11 עוסק בפסיקות חומרה. פסיקה בחומרה היא פסיקה אשר מגיעה מחוץ למיקרו-בקר, כלומר מרכיב חיצוני. ישנן שתי שיטות בעזרתן המיקרו קורא רכיב פריפריאלי: שיטה אחת נקראת סריקה והשיטה השנייה נקראת פסיקה. בשיטת הסריקה, המיקרו-בקר יוזם את הפנייה אל התקן ושואל האם הוא צריך שירות (כפי שנלמד בפרק 10). בשיטת הפסיקה, ההתקן יוזם את הפנייה למיקרו-בקר ומבקש שירות. בפרק, תלמד כיצד ניתן לאפשר פסיקות חיצוניות על ידי אפשר הרגיסטרים IE ו- TCON. בנוסף, תלמד כיצד לכתוב שגרת פסיקה בקובץ משותף ובקובץ נפרד וכיצד ניתן לסמלץ תוכניות הכוללות פסיקות חיצוניות. כמובן שגם פרק זה כולל תוכניות שניתנות לסימולציה ולצריבה על גבי לוח התרגול.

פרק 12 עוסק במונים/טיימרים ברי תכנות. למיקרו בקר 89C51 ישנם שלושה מונים אשר יכולים לשמש כמונים לספירת מאורעות או כקוצבי זמן (timer). בפרק זה נעסוק בשני מונים: מונה 0 ומונה 1. כמו כן, תלמד על מבנה המונה ו- mode (אופן עבודתו). בנוסף לכך, תלמד כיצד ניתן לאתחל את הרגיסטרים של המונה (TCON ו- TMOD) ליצירת השהיות, בדיקת ההשהיות בזמן הרצת הסימולציה בחלון logic Analyzer ואפשר שגרת פסיקה של מונים. כמובן שגם פרק זה כולל תוכניות שניתנות לסימולציה ולצריבה על גבי לוח התרגול.

פרק 13 עוסק בתקשורת טורית. בפרק זה, תכיר מושגים בסיסיים בתקשורת הטורית כגון: Stop Bit, Start Bit, Baud Rate וכו'. כמו כן, בפרק זה תלמד את אופן ביצוע התקשורת הטורית עם הבקר, תכיר את הרגיסטרים שמעורבים בתקשורת. פרק זה יאפשר לך למשל, לחבר את המערכת שלך למחשב PC. באופן כזה תוכל ליצור פרויקטים מעניינים ושימושיים יותר. בדיקת התקשורת הטורית תיעשה באמצעות תוכניות Terminal Emulator נפוצים, כמו PuTTY, Tera-Term, Hyperterm או PuTTY. בפרק זה גם נדגים כיצד ניתן לבצע תקשורת טורית עם LabView!

פרק 14 מציג כמה דוגמאות להרצת סימולציה לשאלות של מהי"ט בנושא 8051. הפתרונות כוללים תשובות לסעיפים השונים של השאלה, כפי שנדרש במבחן.

פרק 15 עוסק בפרוטוקול I2C. פרוטוקול זה מאוד נפוץ בשימוש במיקרו בקרים היות והוא מאפשר לחבר מספר גדול של רכיבים מבלי לבזבז הדקי I/O רבים. בפרק זה נסביר כיצד ניתן ליצור פונקציות סטנדרטיות לכתיבה וקריאה בפרוטוקול הנ"ל. פונקציות אלו יאפשרו לך לחבר כל רכיב שמופעל בפרוטוקול זה בנוחות רבה. בנוסף לכך, נסביר בצורה רחבה על שימוש ברכיב ההרחבה PCF8574 שממיר בין פרוטוקול טורי זה להדקי I/O במקביל. בנוסף לכך, נדגים למשל כיצד ניתן לחבר שמונה נוריות LED בעזרת רכיב הרחבה בפרוטוקול I2C וכיצד ניתן אף לחבר לוח מקשים בעזרת רכיב ההרחבה הנ"ל.

פרק 16 עוסק בחיבור מקלדת PS2 ללוח התרגול. בהשוואה ללוחות מקשים שכמותם הכרת בפרק 10 מקלדות PS/2 (מקלדות של מחשבי PC) הן מאוד עשירות במקשים למרות שעלותן אינה גבוהה. שימוש במקלדות אלו בפרויקטים, יפתח בפניך מגוון עצום של אפשרויות. בפרק זה מודגמת פרוצדורה נוחה לשימוש לקריאת תווים מהמקלדת ותאפשר לך לשלב אותה בפרויקטים.

פרק 17 עוסק בפרוטוקול SPI. פרוטוקול זה נפוץ מאוד בשימוש במיקרו בקרים היות והוא מאפשר לחבר מספר גדול של רכיבים מבלי לבזבז הדקי I/O רבים. בפרק זה נסביר כיצד ניתן ליצור פונקציות סטנדרטיות לכתיבה וקריאה בפרוטוקול הנ"ל. פונקציות אלו יאפשרו לך לחבר כל רכיב שמופעל בפרוטוקול זה בנוחות רבה. בנוסף לכך, בפרק זה נדגים כיצד ניתן לכתוב לזיכרון ולקרוא מזיכרון EEPROM בעזרת שימוש בפרוטוקול SPI. לצורך הדגמה, בחרנו ברכיב זיכרון 25AA256 של חברת Microchip.

פרק 18 עוסק בשילוב בין כתיבה בשפת אסמבלי ושפת C. בתחילת הפרק נדגים כיצד ניתן לכתוב תוכניות בסיסיות בשפת C. בהמשך פרק זה, נלמד כיצד ניתן לשלב בין שתי השפות תוך מתן הסברים ודוגמאות לפרויקטים אשר ניתנים לצריבה על גבי לוח התרגול. כאשר אנו עובדים באופן משולב בין שתי השפות אנו נהנים משני העולמות. קטעי קוד בהם יש חשיבות למהירות הביצוע או גודל התוכנית, יכתבו בשפת האסמבלי. קטעי קוד מסובכים יוכלו להיכתב בשפת C.

פרק 19 כולל טבלאות שמרכזות את כל פקודות האסמבלי של הבקר, טבלת ASCII.



ברצוני להודות לאנשים הבאים, שקראו חלקים שונים מהטכסט והעירו הערות מועילות: מיכאל נייש, כפיר שוויקי, טל משה, נמרוד כהן ג'מילה, מורן שני, אמיר סוטי, עדי זוארץ, פבל קוצ'רז'וק, בידס עלא, בידס תאמר, תומר הרן, אייל בראונשטיין, אסאד אבו חאטום, בשארה עוייד, אירינה קולקוב, ילנה רובינוביץ', ארתור לדז'נסקי, גיא קדוש, יפתח אברהם, יצחק אברמוב, עבד אלמונעם זועבי, מחמוד זועבי, מוחמד חביבאללה, חביב ג'ובראן, חן לוי, אלזיר פאדי, נסראלדין פרג', אלכסיי זמליאנסקי, פלדמן פבל, קרן ברקו, ג'וסי סמואל, דיאנה מושאילוב, חן טורג'מן ודקלה לבקוביץ.

כמו כן תודה מיוחדת מגיעה לאנשים הבאים: עדי בראל, יסמין קדארי, עומרי אגוזי ורועי זינו שהעירו הערות בונות רבות ואף הציעו הצעות רבות לשיפורים.

כמו כן תודה מיוחדת מגיעה לאנשים הבאים: לעתליה זיו, לאוריין אדרי, לזו מלול וחברי הטוב אורן חן, שעזרו במלאכת הניסוח.

תודה נוספת מגיעה לאנשים המצוינים ובעיקר לצוות הפיתוח של חברת "שיא מערכות", שהיא יצרנית של לוח התרגול המעולה שמלווה את הספר. לוח זה הופך את הלימוד בספר לחווייתי ומעניין יותר ללומד.

תודה לחברת א.צ אורקול על התמיכה והעזרה בפיתוח פרויקטים.

תודה לחברת EG-Tech ובמיוחד לארז, על התמיכה ורכיבי החומרה הרבים שעזרו לפתח ולדבג חלקים גדולים מהקודים (בעיקר אלו שקשורים לפרוטוקולים השונים) בפרויקטים מעשיים רבים.

תודה למיכאל ארבל, לאבינועם קרומהולץ, יעקב מלול וראובן מלכה על העזרה המקצועית הרבה שלהם בבניית חומרה לפרויקטים ובעבודת הדיבוג החומרה שעשו לחלק מהפרויקטים. תמיכה זו אפשרה לפתח את הספר במהירות וביעילות רבה יותר.

תודה מיוחדת מגיעה למיכאל קונגה (שהוא מרצה מצוין ומחבר של ספר בנושא מבנה מיקרו מחשבים) על כך שערך לי היכרות עם העולם המרתק של מיקרופרוססורים.

תודה מיוחדת ליאן לרון שהוא כותב ספרים פורה בפני עצמו (שהוציא לאחרונה גם ספר בלתי רגיל בנושא SPICE ועומד להוציא את הספר האולטימטיבי בנושא בקרה). תודה על ההשראה והמוטיבציה לכתיבה של ספרים ועל העזרה הרבה בשילוב תכנת LabView בפרויקטים.

המון תודות מגיעות גם לערן סקלי. תודות על: היעוץ המקצועי בכתיבת קודים, היעוץ המקצועי בכתיבת הספר, העזרה העצומה בדיבוג, הרעיונות המקוריים לפרויקטים וכמובן גם על העידוד.

המון תודות מגיעות גם לאיש היקר מר עמוס זסלבסקי, תודות על: היעוץ, ההכוונה והמעורבות במהלך כתיבת הספר. העזרה העצומה במציאת הרעיונות המקוריים לכתיבה. עמוס, תודה על הסבלנות, ההקשבה וכמובן גם על העידוד. אני מאחל לך הצלחה בשני ספרים המצוינים בנושאי שפת VHDL ותכן ספרתי עם רכיבי Altera.

תודות רבות מגיעות לסטודנטים הרבים מבית הספר הארצי להנדסאים שהשתתפו בקורסים בנושא 8051 שהעברתי במעבדות במכללה. המשוב המועיל שקיבלתי מסטודנטים אלו סייע לי לשפר את איכות ההסברים שלי. כמו כן מגיעות תודות גם לקבוצות הפרויקטים הרבות שהנחתי במכללה זו. פרויקטנטים רבים עזרו לדבג חלק מהקודים בספר ובעיקר אלו שקשורים לפרוטוקולים השונים.

תודה אחרונה מגיע גם למוציא לאור: אלי מיטב על האמון וגם על הסבלנות.

### המלצות ללומד

קיימת תלות חזקה בין פרקי הספר השונים עד לפרק 13. כלומר בכל הפרקים הללו מניחים שהקורא כבר מכיר את הפרקים הקודמים. לכן, מומלץ שהלומדים לא ידלגו על הנושאים השונים במהלך הלימוד של פרקים אלו. בפרקים המתקדמים קיימת תלות נמוכה יותר בין הפרקים וניתן לבחור בפרק הרצוי בהתאם לסוגי הפרוטוקולים שמעניינים את הקורא.

למרות שבספר מוצגות דוגמאות קוד רבות שהן מוסברות היטב ושהן מלוות בתוצאות של הסימולציה, מומלץ מאוד שלא להסתמך בתהליך הלימוד על קריאה בלבד. במלים אחרות כדאי מאוד להריץ את הקודים בסימולציה וכן מומלץ גם לבצע הרצה על חומרה אמיתית!

חשוב לדעת, שניתן להוריד קודים רבים וקבצי עזר שונים מאתר אינטרנט של המחבר. כדאי לבדוק מדי פעם באתר זה לגבי עדכונים (למשל נושאים נוספים שלא נכללו בספר, רעיונות לפרויקטים ועוד...).

להלן כתובת האתר

[www.shai.eguru-il.com](http://www.shai.eguru-il.com)

אני מאחל לכל הקוראים קריאה מועילה ולא פחות חשוב מכך - הנאה וסיפוק בהפנמה של לימוד המעבד והשפה שלו והצלחה בפתוח פרויקטים.

תוכן הספר עבר דיבוג אינטנסיבי על ידי מספר רב של קוראים. למרות כל המאמצים שלי בכתיבת הספר ולמרות המשוב המועיל הרב של האנשים המצויינים שהעירו לי הערות ותיקנו שגיאות בגרסאות השונות של הספר, עדיין עלולות להיות בספר זה טעויות והן כמובן כולן באחריותי הבלעדית וכמובן איני חולק אחריות זו עם אחרים.

אודה לכל מי שישלח לי הערות בקשר לטעויות שכאלה או לכל מי שיצביע על בעיות כלשהן בהבנה של הטכסט או יציע לי הערות בונות כל שהן. כל הערה קטנה כגדולה, תתקבל על ידי בברכה. ליצירת קשר ניתן להשתמש בכתובת הדואר האלקטרונית הבאות:

[shai@eguru-il.com](mailto:shai@eguru-il.com)

הספר מוקדש למשפחתי היקרה.