



## רקע כללי:

מיקרו קונטרולר, או מיקרו בקר, שייך לקבוצת מיקרו מעבדים המשמשים למשימות מעשיות. נראה כי זהו החיבור בין מדעי המחשב וההנדסה, בו ניתן לממש בקרה ספרתית, לבקרה על התקנים אלקטרו מכאניים (דוגמת מנוע DC), או לקבל מידע על העולם החיצון ממגוון חיישנים. סביבתנו מלאה במעבדים מסוג זה. בקר מנוע במדפסת המחשב, לחלון האוטומטי במכונית, או לכנף מטוס (המשתמש למעשה בבקרת משוב חיובית) בקר טמפרטורה במקרר ובמזגן, בקרי תקשורת לפלאפונים, טלפונים או קווי אינטרנט ורבות הדוגמאות.

מעגל משולב (Integrated Circuit), הוא מעגל אלקטרוני קטן, העשוי ממוליכים למחצה למיניהם (כגון צורן, גרמניום ועוד). המעגל המשולב הראשון פותח בתחילת שנות ה-50, במאה שעברה, על ידי ג'ק קילבי (Jack Kilby) מ-Texas Instruments – רוברט נויס (Robert Noyce) מ-Fairchild Semiconductor.

מעגלים משולבים משמשים למגוון רחב מאד של מכשור, כולל מיקרו בקרים ומיקרו פרוססורים ועוד תחומים נוספים. מעגלים אלו מאופיינים באופן מקצועי על ידי כמות הטרנזיסטורים החלקים האלקטרוניים הנוספים הקיימים בו:

- SSI - Small Scale Integration - עד 100 חלקים אלקטרוניים.
- MSI - Medium Scale Integration - בין 100 ל-3,000 חלקים אלקטרוניים.
- LSI - Large Scale Integration - בין 3,000 ל-10,000 חלקים אלקטרוניים.
- VLSI - Very Large Scale Integration - בין 10,000 ל-1,000,000 חלקים אלקטרוניים.
- ULSI - Ultra Large Scale Integration - יותר מ-1,000,000 חלקים אלקטרוניים.

חלק חשוב מהבקר הוא היע"מ (יחידת עיבוד מרכזית) או CPU (Central Processing Unit). זהו "המוח" של המחשב, שם רוב החישובים מתרחשים. במונחי עוצמת מחשב, היע"מ הוא החלק המרכזי והחשוב ביותר של מערכת המחשב.

2 יחידות טיפוסיות המרכיבות יע"מ הן:

1. ALU - Arithmetic Logic Unit, המבצע פעולות אריתמטיות ולוגיות
2. יחידת בקרה, המוציאה פקודות מהזיכרון, מקודדת ומבצעת אותן וקוראת ל-ALU בשעת הצורך.

מיקרוקונטרולר הוא בדרך כלל מעגל משולב בצפיפות גבוהה, המכיל רכיבים המכילים יע"מ (יחידת עיבוד מרכזית, או CPU), זיכרונות מסוגים שונים (RAM, ROM EPROM, EEPROM, FLASH), קווי קלט ופלט (I/O ports) שעונים למיניהם ועוד. בהשוואה למחשב שמימתו היא כללית (שגם מכיל את כל הרכיבים הללו), הבקר נועד למטרה אחת ספציפית – שליטה על מערכת מסוימת. כתוצאה, המחיר וההוצאות על המחשוב יורדים. המיקרוקונטרולר עצמו הוא מעגל משולב הנמצא בחבילה אחת, אך לרוב משלבים אותו בכרטיסי פיתוח (EVB) ואז נקראת המערכת Embedded System.

הבקר עצמו הוא מכשיר השולט על מעבר מידע בין מחשב (CPU לצורכנו), למכשור חיצוני. לדוגמא, כונני דיסקים, מצגי מחשב, מקלדות, מדפסות, חיישנים, מנועים ומגוון רחב של מערכות – כולן זקוקות לבקר חיצוני. מכיוון שרובט מכיל תצוגות (LCD, חיבור למחשב), מקלדות (מקלדת 9 כפתורים, חיבור למחשב), חיישנים, מנועים, הרובט לכן ישלט על ידי בקר מיוחד המתאים לצרכיו.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס, גיא יונה ואלי קולברג  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



ישנם מגוון סוגי זיכרונות לבקר, או למחשב. זיכרונות אלו משמשים מקומות אחסון למידע, מקום הזוכר את המידע שבו ובעל יכולת לזהותו שוב על ידי כתובת הזיכרון. אלו הם מקומות אחסון פיסיקליים המסוגלים לאחסן מידע באופן חשמלי.

1. RAM – משמעו Random Access Memory (זיכרון גישה אקראית). RAM ניתן לכתובה ולקריאה. זיכרון מסוג זה דורש אספקה קבועה של זרם, לכן הספק קבוע לזמן העבודה, רק על מנת לשמור על מידע, אם לא מתחשבים בהספק המבוזבז על פעולות קריאה/כתיבה ל-RAM. עם ניתוק המתח, כל מה שהיה בזיכרון RAM, נמחק לחלוטין. זיכרון מסוג זה נקרא Volatile Memory (זקוק לאספקת מתח שוטפת). זיכרון זה נקרא כך, מפני שזמן מציאת הכתובת וקריאת הכתובת, אינו קשור למספר הכתובת. זמן הגישה לכתובת X תמיד יהיה שווה לזמן הגישה לכתובת Y.
2. ROM – Read Only Memory. לא ניתן לכתוב על זיכרון זה, רק לקרוא אותו. בדרך כלל ישמר ב-ROM מידע הכרחי לפעולת המחשב, כמו פקודות בסיסיות (instructions) לאתחול המחשב (לדוגמא, ב-Startup, ב-ROM יאוחסן וקטור הגישה של ה-reset). ROM הוא Non-Volatile.
3. PROM- Programmable ROM. משמש בדרך כלל לשמירת תוכנות (תוכנה המכילה סדר פעולות האומר למחשב כיצד לפעול). בדומה ל-ROM, זהו זיכרון Non – Volatile.
4. EPROM- זהו PROM הניתן למחיקה בעזרת קרינה אולטרה סגולה. בחבילת הזיכרון יש בדרך כלל חלון זעיר דרכו מעבירים את הקרינה. זיכרון זה הוא Non – Volatile.



חבילת EPROM טיפוסית. ניתן לראות את חלון המחיקה.

- **EEPROM – Electrically Erasable PROM**. בדומה לקודמים, אך ניתן למחוק אותו באופן חשמלי.
- **FLASH** - זיכרון הדומה בהרכבו ל-EEPROM ולעיתים אף נקרא Flash EEPROM חודו הוא בכך ניתן למחוק/לכתוב לזיכרון זה בבלוקים שלמים של זיכרון (ולא כתובת אחר כתובת). עובדה זו הופכת אותו ליותר מהיר ונוח לעבודה. המידע עליו אינו נמחק עם כיבוי המתח (ניתן למחוק את הזיכרון על ידי מתח היפוך לכל תא זיכרון כזה, שכן יש לגרום לאלקטרונים השמורים בתוך התא למינהור. במחשבים מודרניים, הגדרות המחשב BIOS, נצרבות על זיכרון FLASH כך שניתן לעדכן את ה-BIOS על ידי צריבה מחדש על זיכרון ה-FLASH עליו הוא נמצא. גם במודמים יש זיכרון FLASH, כך שפרוטוקול התקשורת של המודם ניתן לכתובה מחדש לפרוטוקולים חדשים ומתוחכמים יותר. זיכרון זה חשוב ביותר כאשר מדברים על תכנות רובוטים, שכן בדרך כלל תכנות הרובוט כולל תהליכים מרובים של ניסוי וטעייה תוך כדי פיתוח תוכנה. תוכנה זו מתעדכנת ומשתנה אינספור פעמים – לכן יש צורך בזיכרון הניתן למחיקה ותכנות מהירים. זיכרון ה-FLASH, וזיכרונות RAM הם כאלו ומאד נוחים לשימוש (RAM אף יותר, שכן מחיקתו דורשת כיבוי מתח, ותכנותו מהיר יותר מזה של ה-FLASH).

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס, גיא יונה ואלי קולברג  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



תפקיד הרובוט הוא לקבל מידע על העולם החיצון בעזרת חיישנים ולהגיב בהתאם בהתנהגות מתאימה.

על מנת למלא תפקיד זה, לבקר יש צורך במגוון פונקציות. נתמקד בעיקר במיקרו קונטרולרים איתם עבדתי, כאשר כל אחד הוא למעשה שדרוג של בקר 68HC(S)12.

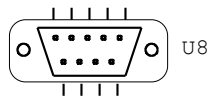
הבקר הראשון שהוצג כשדרוג וקפיצת דרך טכנולוגית, ממשפחת הבקרים HC11, היה הבקר 68HC12A4. בקרים שהוצגו לאחר מכן, בהם השתמשתי (לפי סדר הוצאתם), הם ה-68HC12B32, 68HC12D60 ומעבר למשפחה חדשה – HCS12 (והבקר בו השתמשתי – MC9S12DO256).

המספר הסופי בסוג הדגם מעיד על כמות זיכרון ה-FLASH המצויה על הכרטיס. ככל שמוטורולה פיתחו את הבקר, עוד ועוד זיכרון FLASH נוסף, ולכן לפי מספר זה ניתן לדעת כמה מתקדם הדגם.

בקרים אלו כוללים פונקציות רבות הדרושות לרובוט נייד, או מערכות ניידות בהן יש רעשים חשמליים רבים:

1. ממירי מתחים אנאלוגיים לדיגיטליים (ATD) ו DTA – חיישנים רבים, כגון חיישני מרחק, טמפרטורה וכדומה, מחזירים מתח אנלוגי פרופורציוני למידת המידע שהם קיבלו. על מנת להשתמש במידע זה בבקר דיגיטאלי, יש צורך בממיר מתח אנלוגי לסדרת מספרים בינאריים (הצגת מספר בבסיס 2 במקום הצגתו כמתח אנלוגי). ישנם בקרי מנוע המקבלים מתח אנלוגי כבקרה למתח הנשלח למנוע, אז לעיתים יש צורך בממיר דיגיטאלי לאנלוגי בנוסף.
2. אפנון רוחב גל – או מייצר גלים ריבועיים, הידוע גם בשם Pulse Width Modulator. גל זה משמש ברכיבים כגון LMD18201 (בקר מנוע) כבקרה למתח חיצוני (הנשלח למנוע), או ככניסת מידע לגייירו דיגיטאלי (המוציא אות מרובע בתדירות שונה בהתאם לרמת וכיוון הסיבוב של הגיירו).
3. תופס קלט – Input Capture, המשמש לקליטה של אותו חדים (בזמן t קצר מאד, ישנה קפיצה גבוהה של מתח ומאד חדה). מעגלים אלו מכילים הגנות כנגד הספייקים החשמליים אותם הם נועדו לקלוט. לדוגמא, יציאתו של אנקודר (מקודד) של מנוע ניתן לחבר לקו כזה.
4. ב- HC(S)12 מערכת זו יכולה להיות רגילה (TIM) או מוגברת (ECT) עם יותר קווים ויותר מהירה.
5. קווי IRQ/XIRQ – קווי בקשת פסיקה חיצונית. IRQ הוא הדק בקשת פסיקה הניתנת למיסוד (Mask). XIEQ יכול לשמש לפסיקה בלתי ממוסכת, וקו המגיע אליו יכול להגיע משער OR רב כניסות. ניתן להשתמש בקריאות אלו לבדיקת נפילת מתחים וכדומה (ועל ידי כך ליצור בקרה עצמית של הבקר על שאר מערכת החשמל המספקת לו את המתח הדרוש לו לעבודה).
6. מערכות תקשורת – ישנן מערכות תקשורת רבות המשמשות לתקשורת בין מרכיבים שונים של המיקרו בקר, או בין מיקרו בקר אחד לרעהו, ואף מחשבי PC. להלן מספר מערכות תקשורת:

1. SCI – תקשורת סיריאלית א-סינכרונית (Serial Communication Interface) מתאימה לתקשורת RS232 (היציאה הסיריאלית מהמחשב). זו אינה סינכרונית מכיוון שכל מכשיר פועל לפי שעון עצמי, ללא סנכרון בין השעונים. חיבור 9 פינ טיפוס ל – RS232:



2. SPI – תקשורת סיריאלית סינכרונית (Serial Peripheral Interface), המחובר לכניסת SPI של מכשיר חיצוני. 2 המכשירים עובדים בצורת Master-Slave device, כאשר אחד מהם מספק CLK למערכת, וה Slave שולח/מקבל מידע לפי שעון זה, ללא כל קשר לשעון הפנימי של המכשיר אליו הוא מחובר. מערכת ה- SPI היא מערכת דופלקס מלא (Full Duplex), כלומר, שליחת מידע וקבלת מידע (דרך 2 חוטים) בו זמנית. לדוגמא, טלפון הוא מערכת דופלקס מלא, מפני ששני המשוחחים יכולים לדבר ולשמוע אחד את השני בו זמנית.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה



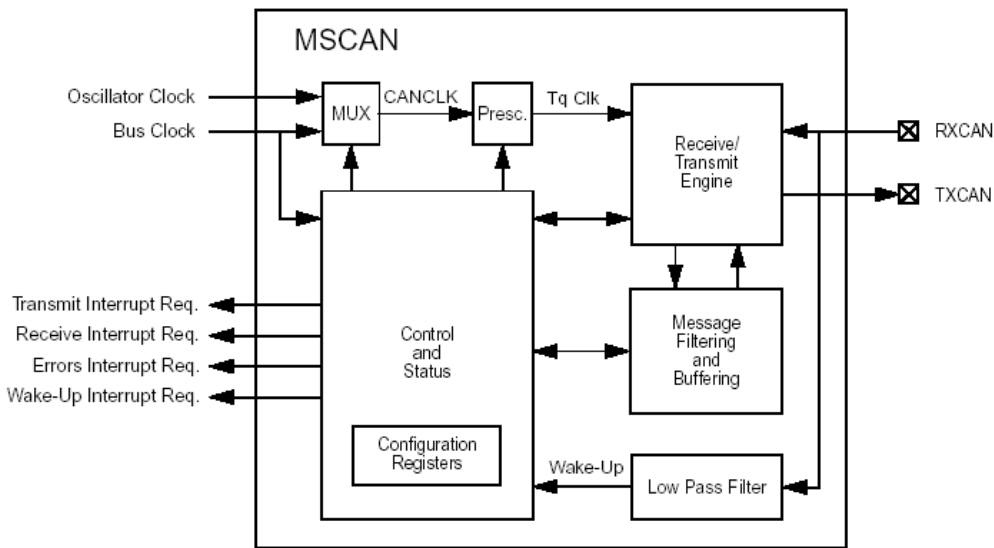
"ווקי-טוקי" לעומת זאת, היא מערכת דופלקס חצי – מלא. בזמן נתון אפשר רק להקשיב, או רק לדבר.

על מנת להשתמש במערכת SPI, יש צורך בארבעה קווים. 2 קווי בקרה ו-2 קווי מידע:

1. Master Out Slave In - MOSI, מספק את המידע הנשלח מה-Master, המתקבל על ידי ה-Slave.
2. Master In Slave Out - MISO, מספק את המידע הנשלח מה-Slave, המתקבל על ידי ה-Master. יש לשים לב כי אין יותר ממכשיר Slave יחיד השולח מידע בזמן נתון.
3. SCLK - שעון סיריאלי – השעון השולט בכל המערכת. מנרמל את קצב העברת המידע (ממצב השעון של ה-Slave, לשעון החדש של ה-Master).
4. Slave Select - SS. קו זה מספק בקרה להדליק או לכבות את ה-Slave.

קצב התקשורת של פרוטוקול זה נע בין 9600 ל 115200 (Baud Rate) ב HC12.

3. MSCAN – בשם מלא – Motorola Scalable Controller Area Network, העובד לפי פרוטוקול תקשורת CAN 2.0A/B, שהוגדר על ידי Robert Bosch בספטמבר 1991 לשימוש במכוניות. הוא משמש לתקשורת בסביבה רוויה ברעשים חשמליים, ובעל מערכת בקרה לסינון רעשים, ובעלות נמוכה לדרישות רוחב הפס (band width). ניתן להשתמש בכרטיס בסביבות "קשות" לתפעול, כגון מכונית (שליטה אוטומטית על מכונית, בעזרת תקשורת המתקבלת ממגוון חיישנים בתוך הרכב, לדוגמא).



דיאגרמת העבודה של פרוטוקול התקשורת של CAN ב- HC12

במערכת CAN, אין סכימת כתובות, כפי שמשתמשים באופן קונבנציונאלי ברשתות גדולות, אם כי הודעות נשלחות לכל השלוחות (Nodes) במערכת, תוך כדי שימוש במפענח ייחודי למערכת ה-CAN. על סמך המפענח, כל שלוחה מחליטה האם לעבד את ההודעה ובנוסף לקבוע את חשיבות ההודעה (מבין שאר ההודעות) לגבי שליחתה לעורך המידע המרכזי (BUS) – ההודעה בעלת החשיבות הגבוהה ביותר (top priority) תשלח ל-BUS ראשונה. שיטה זו מאפשרת שליחת מידע באופן שוטף גם כאשר ישנה התנגשות (למערכות תקשורת שונות יש פרוטוקול התאוששות מהתנגשות מידע, מפני שזה מצב אפשרי).

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס, גיא יונה וואלי קולברג  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



ולכן היא יעילותה בהעברת וקבלת מידע גבוהה.  
שיטה זו משמשת לקצב העברת מידע, עד 1 מגה בייט לשנייה (1 mbps).

4. Inter Integrated Circuit - או בשמו המקוצר, I2C, הוא פרוטוקול תקשורת נוסף, בדומה ל SCI, או SPI. פותח בתחילת שנות ה-80 על ידי חברת Philips Semiconductor. פרוטוקול זה משתמש בשני קווים בשם SCL ו SDA, דו כיווניים. אין צורך בחיבורים רבים, אלא רק בשני קווים אלו – לכן בשונה מ BUS רגיל, אין צורך מפענח כתובות (Address Decoder). עורק התקשורת שלו הוא Multi Master (Multi Master BUS), כלומר שמספר מכשירים יכולים להתחבר לאותו עורק, וכל אחד יכול לשמש כ-Master, על ידי התחלת שליחת מידע אל ה-BUS.

עורק התקשורת מתאים למכשור (חיישנים, לדוגמא) שמידע מהם נשלח בתדירות מסוימת (ולא באופן שוטף ללא הפסקות, כמו מתח חיישן אנלוגי), למרחקים קצרים, בשימוש של כמה מכשירים שונים.  
עבור ה-HC12 (יש לשים לב, כי רק עבור הדגם עבורו יש 128k זיכרון FLASH שנעשה אחרי ה D60 וה-B32, יש פרוטוקול I2C), קווי ה I2C, מתאימים לתקשורת I2C רגילה, בעל אפשרות של Multi-Master (הוא ספק השעון העיקרי של התקשורת עם המכשירים אליו הוא מחובר). ניתן לכוון את שעון התקשורת ל 256 תדירויות שונות, ועוד.

5. Byte Data Link Control - BDLC. זהו פרוטוקול תקשורת נוסף, בדומה ל msCAN. כמו כן, ישנה שליחה וקבלה של הודעות המפוענחות בייט אחר בייט. הפרוטוקול הכללי:

SAE J1850 Class B Data Communications Network Interface Compatible and ISO Compatible for Low-Speed (125 Kbps) Serial Data Communications in Automotive Applications

אופן פעולתו גם דומה לאופן הפעולה של ה-CAN, אך הוא פחות מתוחכם ומשמש למהירויות נמוכות יותר.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס, גיא יונה וואלי קולברג  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר