



”כשאני שומע - אני שוכח”
כשאני שומע ורואה - אני לוכד
כשאני עושה - אני מבין! ...”

”המעבדה הממוחשבת” (MBL*)

רמי אריאלי ועובדי קדם

המחלקה להוראת מדעים, מכון וייזמן למדע.

כבר הספקנו להתרגל לעובדה שהמחשב האישי משמש ככלי לעיבוד נתונים והצגתם בצורות שונות כגון: טבלאות, מספרים, גרפים, דיאגרמות וכו'. הבעיה שהיתה בדרך כלל למשתמש היתה בשלב המייגע של הקלדת נתוני הניסוי הנמדדים אל מערכת עיבוד הנתונים - המחשב. המעבדה הממוחשבת (MBL) באה, בין היתר, על מנת לענות על בעיות מסוג זה. היא מתחברת ישירות למתמרים המצויים במערך הניסוי ומעבירה את הנתונים למחשב, מתורגמים לשפה הבינרית "המובנת" לו.

בעבר, כאשר היה צורך לקלוט נתונים מניסוי רציף, נאלצנו להשתמש בציוד יקר כגון: אוסצילוסקופ דיגיטלי (משקף תנודות סיפרתי) או רשם נייר רציף. לאחר ביצוע הניסוי היה על המשתמש לתרגם באופן ידני את נתוני המדידה ממסך האוסצילוסקופ או מסרט הנייר לנתונים מספריים שהוקלדו בצורה ידנית למחשב.

המעבדה הממוחשבת מסוגלת לקלוט מידע מניסוי בקצב מהיר ביותר המגיע עד לאלפי מדידות בשניה וכך מאפשרת לנו לקלוט אפילו מידע של קול (דיבור או צלילים) ולנתחו במחשב. המעבדה הממוחשבת מאפשרת ביצוע ניסויים שבשיטות אחרות כמעט בלתי ניתנים לביצוע, או שהביצוע הוא מייגע ובלתי מדויק.

לדוגמא: כדי להסביר מהו ההבדל בין הצליל "דו" האמצעי בפסנתר לבין אותו צליל בחליל, לא היו ברשותנו עד כה כלי

העולם המודרני ובראשו התעשייה המתוחכמת מתבססים ברובם על מערכות ממוחשבות. לצורך מדידת גדלים פיסיקליים, איסוף נתונים, עיבודם, הצגתם, ובקרת התהליכים בהם מעורבים גדלים אלו נזקקות המערכות הממוחשבות לאמצעי קשר עם העולם החיצון. אמצעי קשר אלו משמשים למערכת הממוחשבת במקום החושים עליהם

מסתמכים בני אנוש

עיניים (ראיה), אוזניים (שמיעה), אצבעות (מישוש), אף (ריח) ופה (טעם ודיבור). למעשה, מספר סוגי החישה המעבדתיים גדול בהרבה ממספר החושים המפותחים אצל יצורי אנוש, וקיימים חיישנים (סנסורים) לביצוע מדידת גדלים רבים כגון:

1. שדה חשמלי ומגנטי.

2. קרינה גרעינית לסוגיה השונים.

3. קרינה אלקטרו-מגנטית גם מחוץ לתחום הספקטרום הנראה: קרינת X, וקרינת אולטרא סגול (UV) מצד אחד, וקרינת אינפרא-אדום, מיקרוגל וגלי רדיו מהצד השני.

4. מדידת דרגת החומציות (pH) של כימיקלים.

5. מדידות טמפרטורה ולחץ.

6. זרימת נוזלים וגזים.

* Microcomputer Based Laboratory

מדידה מתאימים. יכולת החישוב המדהימה של המחשב מאפשרת ביצוע התמרת (טרנספורם) פורייה של אותות הקול הנמדדים והשוואה בין המרכיבים הספקטראליים השונים.

כמעט ואין מגבלות לאפשרויות ביצוע הניסויים באמצעות המעבדה הממוחשבת. החל ממדידות של פרמטרים פיסיולוגיים כגון קצב לב, המשך במדידות פיסיקליות של מתח, זרם, תנועה וכו' וכלה במדידות של ריכוז יוני המימן בחומצות ובסיסים (pH).

קיימת אי בהירות מסויימת לגבי המושגים הקשורים במעבדה הממוחשבת. בעזרת מאמר סקירה כללי זה ומאמרי סקירה מוגדרים עבור מערכות המצויות בשוק החינוך הישראלי, יעשה ניסיון למצוא מכנה משותף בין צרכי המשתמשים במעבדות לבין היצרנים, ואולי אף יתגבש כתוצאה מכך גם תקן ראשוני.

כמו בכל נושא חדש יש תחילה להסביר את המושגים עליהם מבוססת המעבדה הממוחשבת: רב השימוש במושג: "איסוף נתונים בזמן אמת (Real time data acquisition)". ברור כי איסוף הנתונים כשמו כן הוא, אך לא מוגדר בדיוק מהו "זמן אמת". בשלב זה נתייחס למערכות בזמן אמת כאל מערכות אשר מבצעות את איסוף הנתונים ועיבודם בתוך חלון זמן נתון, התלוי בדרישות המהירות וברמת הדיוק של המערכת הנמדדת.

מה זה MBL?

MBL הם ראשי תיבות של Microcomputer Based Laboratory (מעבדה ממוחשבת).

המעבדה הממוחשבת משמשת לאיסוף נתונים פיסיקליים, והתמרתם לאות חשמלי באופן שהמחשב יוכל לקלוט אותם.

בהכללה, מעבדה ממוחשבת כוללת:

1. חיישנים (מתמרים) (כגון מד טמפרטורה, מד זרם, וחיישן תנועה).

2. מפעילים (כגון מנועים, ברזים ומפסקים).

3. ממשק אלקטרוני (קופסה המכילה את רכיבי ההתמרה מאותות אנלוגיים לדיגיטליים).

4. חיבור למחשב עם פרוטוקול תיקשורת מוגדר.

5. המחשב ותוכנת הפעלה המשמשת גם כאמצעי הקשר של המשתמש למערכת המעבדה הממוחשבת.

ההתייחסות בהמשך היא לכל אחד מחלקים אלו בנפרד:

1. מהו חיישן (מתמר)?

מכשירי מדידה אלקטרוניים אינם יכולים לקלוט גדלים פיסיקליים כגון עוצמת קול או טמפרטורה. על כן על החיישנים להתמיר גדלים פיסיקליים שונים לאות חשמלי.

מבין מגוון המתמרים נציין:

א. מתמר קול:

מיקרופון ההופך את השינויים המקומיים בלחץ האוויר המכונים קול לאות חשמלי.

ב. מתמר אור:

רכיבים ההופכים עוצמת אנרגיה אלקטרומגנטית של אור לאות חשמלי.

אות המתמר עשוי להיות אות רציף הפרופורציוני לעוצמת האור, או אות דיסקרטי ("יש אור" או "אין אור").

קיימים מספר רב של רכיבים המשמשים כמתמרי אור, וביניהם: פוטו-דיודות, פוטו-טרנזיסטורים, נגדים תלויי אור ותאים פוטו-וולטאיים.

ג. מתמר טמפרטורה:

כדי להפוך טמפרטורה לאות חשמלי, משתמשים לרוב בנגד תלוי טמפרטורה, צמד חומני, או התקנים המבוססים על מוליכים למחצה.

ד. מתמר שדה מגנטי:

משתמשים בחיישנים הפועלים על בסיס אפקט הול (Hall Effect).

ה. מתמר מקום:

קיימים סוגים רבים: חלקם עובד על עקרון של קישור פיזי של הגוף הנע למתמר (באמצעות חוט, למשל), וחלק באמצעות מדידת זמן ההחזרה של אות קולי או על-קולי מן הגוף למשדר/ קולט.

2. מפעילים

לעיתים כוללת מערכת המעבדה הממוחשבת גם את שלב הבקרה (Control) המתבטא ביצירת אות היוצא מקופסת מימשק המעבדה לעולם החיצוני לשם הפעלת מערכות מחוץ למחשב.

3. הממשק האלקטרוני

יכול להופיע כקופסא חיצונית המתחברת למחשב באמצעות כבל, או ככרטיס אלקטרוני הנתקע לתוך חריץ ייעודי בתוך מארז המחשב. קיימים מספר מאפיינים בסיסיים למעבדה ממוחשבת, המתייחסים לחיבורי החיישנים אליה, חיבורי האותות

הנשלחים ממנה למערכות חיצוניות וחיבוריה למחשב.
נסקור כאן את העיקריים שבהם:

א. כניסה אנלוגית - A/In

מספר ניכר של חיישני (מתמרי) מדידה יוצרים אות אנלוגי (מתח או זרם) הפרופורציוני לגודל הפיסיקלי הנמדד. אות אנלוגי רציף זה יש לתרגם לערכים הדיגיטליים אותם "יודע" המחשב לקלוט ולעבד.

קיימים מספר **תקנים מקובלים** של מתח או זרם המתקבלים ממתמרי מדידה:

(1) כניסות מתח: 0-10 VDC

(+5) VDC - (-5)

0-100 mV

(2) כניסות זרם: 4-20 mA

עקב התקנים השונים, קיימת בעייה של תאום בין האות המתקבל מהמתמר לבין האות שהמעבדה הממוחשבת מסוגלת "להבין". במערכות המעבדה הממוחשבת הראשונות פתרו את בעיית התאום ב**חומרה**, כלומר במערכת היו כניסות נפרדות שהותאמו לתקנים השונים, או שהשתמשו ב"יחידת תיאום" בין החיישן למערכת המעבדה הממוחשבת.

השאיפה היא להגיע למצב של **כניסה אוניברסלית המזהה באמצעות תוכנה את החיישן ומתאימה על ידי פקודות פנימיות במחשב את החומרה לקליטת המידע מהחיישן למעבדה הממוחשבת.**

מכיוון שהמחשב פועל בשיטה הבינרית (שני מצבים אפשריים), הרי מספר הספרות n (ביטים) המשמשות לתרגום מספר אנלוגי מגדיר את דרגת הדיוק של תרגום המספר. **הרזולוציה (דרגת הדיוק)** של הכניסה האנלוגית מוגדרת על ידי: (מספר ביטים)². בטבלה 1 מתוארת הרזולוציה של מערכות על פי מספר הביטים של המערכת.

לדוגמא, במערכת שכושר ההפרדה שלה: 12 ביטים, נקבל עבור מתח כניסה בתחום: 0-10VDC, רזולוציה של: $10VDC/2^{12}=2.44mV$

כלומר, במדידת מתח בתחום עד 10 וולט, נקבל דיוק מכסימלי של 2.44mV.

ב. יציאה/כניסה דיגיטלית.

אות דיגיטלי (סיפרתי), כפי שמוכן מהשם, יכול לקבל את הערכים 0 או 1. כלומר הוא יכול להגדיר את המצבים: גבוה/נמוך, סגור/פתוח, קיים/לא-קיים וכו'. המידע מופיע כביט אחד במחשב ולכן הוא זול ופשוט בהרבה מכניסה ויציאה אנלוגיים. במקרים רבים זהו כל המידע הנדרש, כמו הפקודה מתי להתחיל או להפסיק תהליך מסויים, ויש לנצל כניסות/יציאות אלו במהלך תכנון הניסוי.

ג. יציאה אנלוגית - משמשת לבקרה רציפה על מערכת חיצונית. מספקת אות היוצא מהמחשב אל מערכת חיצונית. התקנים של אות זה זהים לאלו של סעיף א' פרט לאות המתח בתחום 0-100mV אשר משמש רק כאות כניסה.

לכל סוגי הכניסות לממשק המעבדה הממוחשבת קיימת תמיד מגבלת האות המכסימלי, אותו ניתן לספק למערכת מבלי לגרום לה נזק, ומגבלות האות המכסימלי והמינימלי אותם מסוגלת המערכת לדגום ולתרגם בצורה מדוייקת.

4. תיקשורת למחשב

בדרך כלל ניתן לחבר לתוך המחשב כרטיסים מסוגים שונים כגון:

א. כרטיסים לאיסוף נתונים.

ב. כרטיסי תיקשורת.

ג. כרטיסים למטרות מיוחדות.

מערכת הממשק של המעבדה הממוחשבת כוללת לרוב מספר פונקציות שונות מתוך הכרטיסים הנ"ל. כדי שיהיה נוח ופשוט למשתמש הבלתי מתוחכם להתחבר למעבדה ולהפעילה, מופיעות רוב מערכות המעבדה הממוחשבת כקופסאות נפרדות המתחברות למחשב באחת ממספר שיטות חיבור:

א. חיבור ליציאה המקבילית התיקנית המצויה במחשב (יציאת המדפסת).

ב. חיבור ליציאת התיקשורת הטורית התיקנית (RS232).

ג. חיבור על ידי כרטיס מיוחד הנתקע לאחד מחריצי ההרחבה בתוך קופסת המחשב.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2 ⁿ	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768	65536

טבלה 1

5. המחשב עם תוכנת ההפעלה

תפקידי המחשב לגבי האינפורמציה הניסויית הם:

א. איסוף הנתונים.

ב. ניתוח ועיבוד מתמטי.

ג. הצגת הנתונים למשתמש בצורה הנוחה ביותר.

ד. איחסון הנתונים המעובדים לשימוש מאוחר יותר.

ה. שילוב של מספר הפעולות שתוארו לעיל באופן

שהמחשב ישמש במקום מכשירי המעבדה המקובלים.

אחד היתרונות הגדולים של המחשב הוא יכולתו לבצע

אמולציה (Emulation) של ציוד מעבדתי. כלומר, הוא

יכול לבוא במקום ציוד מעבדתי יקר ומסובך. לדוגמא,

ניתן להשתמש במחשב במקום כל אחד מהמכשירים

הבאים:

א. אוסצילוסקופ דיגיטלי עם זכרון.

ב. מחולל אותות.

ג. מד תדירות.

ד. מנתח תדרים (Spectrum Analyzer).

ה. מסננים (פילטרים) אלקטרוניים לתדר גבוה ולתדר

נמוך, ועוד.

על ידי השימוש במחשב אחד במקום ציוד מיוחד לכל

מטרה, נחסך כסף רב, מצטמצמת הבעיה של חוסר מקום

במעבדה, וכן משתפרת נוחיות ההפעלה.

שיטת העבודה היא יצירת מכשיר מדומה (וירטואלי)

(VIRTUAL Instrument) באמצעות התוכנה. כלומר,

בלחיצת כפתור מגדירים את הפונקציות אותן תבצע

המערכת ללא הצורך לחבר פיזית את כל המכשור

המעבדתי המסובך.

כיצד מתקשרת המעבדה הממוחשבת להוראת

הפיסיקה?

הוראת הפיסיקה בבתי הספר התיכוניים מתבצעת בעיקרה

על ידי לימוד "יבש" מהספרים, כאשר המורה משתמש לרוב

בלוח הכיתה לצורך ההסבר כיצד לפתור בעיות באמצעות

נוסחאות מתמטיות. ביצוע ניסויים מעבדתיים על ידי כל

אחד מתלמידי הכיתה ("התנסות אישית") הוא בדרך כלל

תהליך ארוך ומסובך. עקב הלחץ המופעל על המורים

והתלמידים לקראת בחינת הבגרות, לא ניתנת בדרך כלל

לתלמיד ההזדמנות לבצע מספר רב של ניסויים בעצמו.

תהליך ביצוע הניסויים על ידי התלמיד כולל רישום ידני של

התוצאות המספריות הנמדדות, עיבודן המתמטי על ידי

חישובים במחשבון הכיס וסרטוט ידני של גרפים המתארים

את התופעה הנמדדת תוך שימוש בנייר מילימטרי, לוגריתמי

וכו'.

המעבדה הממוחשבת באה לפתור חלק ניכר מבעיות איסוף

הנתונים של התהליכים הפיסיקליים ועיבודם החישובי

והגרפי. הדבר מאפשר את ביצוע הניסויים על ידי התלמיד

ללא איבוד זמן על "עבודה שחורה ומיותרת".

באמצעות המעבדה הממוחשבת יכול התלמיד לאסוף את

הנתונים הנמדדים מתהליך הניסוי שהוא מבצע. המעבדה

הממוחשבת מאפשרת איסוף מספר עצום (אלפים) של

נתונים ממספר חיישנים בו זמנית. המחשב מאפשר ביצוע

עיבוד הנתונים תוך ניצול יכולת החישוב האדירה של

המחשב האישי, סרטוט גרפים של הפרמטרים השונים של

הניסוי תוך כדי ביצועו, ושמירת הגרפים והדפסתם לצורך

שימוש מאוחר יותר (הדבקתם במחברת התלמיד).

לסיכום:

"מעבדה ממוחשבת" (קופסת חיישנים) מאפשרת:

א. איסוף נתונים מהיר ויעיל.

ב. אירגון הנתונים ואפשרות שמירתם בצורה אופטימלית

(רק מה שמעניין).

ג. אנליזה של הנתונים - עיבודים מתמטיים (נגזרת,

אינטגרל, נוסחאות וכו').

ד. סרטוט גרפים של התוצאות - בלחיצת כפתור.

ה. ניתוח הגרפים (מציאת עקומות אופטימליות).

ו. אידאלי: העברת נתוני הניסוי הנמדדים ללומדות

הסימולציה לצורכי השוואה.

בחוברת שלפנינו מופיעים עוד שני מאמרים שנכתבו על ידי

מורים לפיסיקה שהם נציגיהם של יצרני מעבדות

ממוחשבות. בחוברות הבאות נשתדל להציג מערכות

נוספות, וכן דפי עבודה, פעילויות, ניסויים והדגמות

המבוססים על MBL.

מערכת "תהודה" מצפה לתגובותיכם, ומקווה שתיענו

לאתגר של הכנסת כלי עבודה מתקדמים למערך הוראת

הפיסיקה בישראל.