



מחשפיסיקה

טד – טכנולוגיות דידקטיות MBL – מעבדה מבוססת מחשב

אבי שווארץ, TED, טכנולוגיות חינוכיות מתקדמות, קריית הטכניון, חיפה

מבוא:

וועדת הררי, בדו"ח¹ הסופי אותו פרסמה, מעלה מספר קביעות אותן, לדעת חברי הוועדה, יש לקבל כהנחות יסוד בדרך למימוש תוכניות לימודים משופרות. אחת מהנחות אלו טוענת כי: "אין מדע וטכנולוגיה בלי ניסויים ומעבדות".....

הוועדה הרחיבה התייחסות זאת לקביעה מקיפה ונחרצת, הנוגעת הן לתכנית והן לדרכי הלימוד: "...אין כל ממשות לתיאוריה מדעית שלא אושרה בניסוי, ובוודאי שאין מקום לעיסוק עיוני טהור בנושאים טכנולוגיים. ההתנסות המדעית, העבודה במעבדה והעיסוק הפעיל בתופעות טבע ומערכות טכנולוגיות הם חלק מרכזי של תהליך הלמידה". על קביעה זו ראוי להוסיף כי **עיקרו של המדע הוא חקירה, ניסוי והוכחה, ובוודאי ראוי שדרך הפעילות הלימודית תחקר את הפעילות המדעית**. עיקרון חשוב, שאינו מובא בפירוט, הוא כי כשם שאין מקום לעיסוק עיוני ללא הפעילות המלווה אותו, כך אין להעלות על הדעת פעילות ללא העיסוק העיוני. הוועדה מוסיפה: "הדבר מחייב... (מעל הכל)... שילוב מלא ורצוף של לימודים עיוניים והתנסות מעבדתית ללא הפרדה מלאכותית בין השניים". בין המלצותיה העיקריות של הוועדה קיימת ההמלצה לדרכי המימוש של סכימת לימוד אינטגרטיבית כזו: "המחשב הוא כלי רב חשיבות בהוראת כל המקצועות בכל רמות הגיל... כל אזרח במדינה חייב להיות מסוגל להפיק מהמחשב את מירב התועלת. חובתה של מערכת החינוך היא להכשירו לכך בכל הדרכים האפשריות".

שילוב טכנולוגיה ומדעים הוא מטרת העל של החינוך בישראל, כפי שהוגדרה ע"י וועדת הררי. אחד הנושאים המרכזיים בהם מתקיים שילוב שכזה, הינו מעבדה מבוססת מחשב MBL², דהיינו שימוש במחשב להדגמה, ניתוח ואף שליטה על מהלכם של ניסויים מדעיים וטכנולוגיים.

מושגי יסוד בעולם המעבדה הממוחשבת:

המושג הראשון הקשור לעולם המושגים של מעבדה ממוחשבת הוא מושג ה-**דגימה**: דגימה הינה תהליך בו

המחשב מודד ערך פיסיקלי (כגון עוצמת אור, אורך גל, טמפרטורה, לחות, כמוליכות, מתח, זרם, מהירות ומרחק). המונח "הדגימה" נובע ממאפייני התהליך בו נלקחת "דוגמה" מן העולם הפיסיקלי, מומרת לנתונים מעולם המחשב ונשארת שמורה בו עד אשר משתמשים בה שנית, בניתוח התהליך הנחקר. קיימים מספר מאפיינים לתהליכי הדגימה ולמערכותיה:

א. **סיבת הדגימה**: האם הדגימה חייבת להתבצע בסביבת המחשב, דהיינו במעבדה, או - האם ניתן לדגום תהליכים בסביבתו הטבעית של הלומד, ללא תלות בלוגיסטיקה של הימצאות מחשבים באותה סביבה. זוהי שאלה מרכזית אשר היא מתמודדת בבעיית "מוחמד וההר" - כדי לקרב את החקר המדעי ללב התלמיד רצוי להפעילו על תהליכים אמיתיים. במעבדה, לעומת זו, הסביבה "סטריילית", וודאי אינה מחקה את העולם האמיתי בדרך הניתנת להעברה (transfer) על-ידי התלמיד).

ב. **קיצבי הדגימה**: תופעות פיסיקליות או תופעות הקשורות בפרמטרים מכאניים הן בדרך-כלל תופעות איטיות, ולכן ניתן לדגום אותן בפרקי זמן ארוכים (עשיריות - מאיות של שניה). לעומתן קיימות תופעות כמו דיבור, מוסיקה ותגובות של רכיבים אלקטרוניים הדורשות זמני תגובה מהירים מאד - של מיליוניות השניה.

ג. **הדיוק בדגימה**: במערכות תעשיתיות נדרש בדרך-כלל דיוק גבוה, שכן נדרש לשלוט על פעולות מדוייקות ביותר. מכיוון שבמערכת החינוך המטרה היא בעיקר הבהרת עקרונות הדגימה. לא נדרש בדרך-כלל דיוק גבוה. ומסתפקים במערכת פשוטה (Straight - forward).

ד. **החיבור למחשב**: קיימות 3 שיטות עיקריות לחיבור מערכת הדגימה למחשב:
חיבור ישיר - תוך שימוש בכרטיס פנימי. בשיטה זו יש

המטרה העיקרית של שימוש ב MBL היא לימוד וניתוח התופעות, ולא לימוד וקליטת התוכנה.

מכל האמור לעיל, נראה ראוי כי מערכת הניתוח המלווה את ציוד המדידה תהיה גמישה ומתואמת היטב הן לציוד המדידה, אך בה במידה גם לתוכנות אחרות, המצויות ממילא בבית הספר. דוגמה אופיינית ניתן להביא את רוב, הגיליונות האלקטרוניים: בהיות נושא זה חלק אינטגרלי מתכנית הלימודים, סביר להניח כי תוכנה כזו קיימת ברשות בית הספר, ואפילו קיימת האפשרות כי חלק מהתלמידים מכירים אותה ומיומנים בהפעלתה.

בהיות הגיליון האלקטרוני לסוגיו סביבה פתוחה, עוצמתן וגמישותו עולים לאין-ערוך על כל תכנה יעודית לניתוח נתונים. עקב תפוצתו הרבה, עלויות הפיתוח מתחלקות על פני מספר משתמשים רב בהרבה מאשר עבור כלים יעודיים למעבדה ממוחשבת, ולכן גם עלויותיו נמוכות בהרבה, למרות ביצועיו העדיפים (גם הם בהרבה). ולכן, ראוי להמליץ כי תוכנת הניתוח תשמש בעיקר להפעלת מערכת הדגימה ולליקוט ערכי המשתנים, תוך התאמה מושלמת לחומרה, ומתן אפשרות ליצוא הנתונים לתוכנות מתמחות - כגון גיליון אלקטרוני. המושג האחרון המתקשר להפעלת מעבדה ממוחשבת הינו שליטה: חלק ניכר מן הניסויים ניתן לשפר ולהאיץ על-ידי שימוש במערכות שולטות.

לדוגמא: בניסוי פיסיקלי בו מודדים טעינת קבל, ניתן לשפר את האיכות הניסוי אם ניתן יהיה לשנות את רמת המתח על-ידי המחשב (אותו מחשב המבצע גם את המדידה). קיומה של אפשרות כזו משחרר את האדם המבצע את הניסוי מתלות במאפיינים כגון קואורדינציה, דיוק וזריזות ידיים (החשובים כשלעצמם, אך לא בהקשר של טעינת קבל...). מיחשוב התהליך יאפשר לקבל מספר גרפים של טעינה המתארים את אותה תופעה - טעינה - במספר מתחי מבוא, תוך זמן קצר ביותר. דוגמאות כאלו קיימות לרוב בכל תחומי הטכנולוגיה. מומלץ לכן שמערכת הדגימה תכיל גם יכולת לשלוט על מערכות חיצוניות רלוונטיות.

בתחום ה-MBL מציגה טד שתי מערכות:

א. מערכת CHIC (Computer Hardware Interface for Children)

מערכת ה-CHIC מתחברת אל שקע המדפסת במחשב באופן חיצוני. המערכת נשלטת על-ידי המחשב והיא כוללת אפשרות חיבור ל 4 חיישנית אנלוגיים ו - 8 חיישנים לוגיים (בינאריים, או דיגיטליים). כמו כן כוללת המערכת יכולת שליטה על עד 8 צרכנים

צורך בהכנסת כרטיס לתוך המחשב, שיטה זו היא המהירה והפשוטה ביותר, ומבטיחה בתכנון המתקן יחד עם קצב דגימה גבוה ביותר.

חיבור דרך שקע מדפסת - (הקרוי לעיתים גם שקע מקבילי) - בשיטה זו מתחברים חיצונית למחשב, אל השקע המיועד לחיבור המדפסת. בשיטה זו אין צורך לפתוח את המחשב, אך קיימות הגבלות הנובעות מתקשורת בין המחשב להתקן הדגימה. כמו כן, קיימות לעיתים מגבלות לגבי הפעלה במקביל עם הכרטיס הדוגם והמדפסת

חיבור דרך תקשורת טורית RS232 - בשיטה זו מתחברים חיצונית למחשב על-ידי שקע תקשורת טורית. התקשורת בשיטה זו איטית מאד.

ה. ערוצי הדגימה: אחד היתרונות החשובים ביותר של סביבת המעבדה הממוחשבת הוא היכולת לבצע דגימה של מספר משתנים במקביל. באופן מסורתי, סביבת המעבדה הקונבנציונלית מתמקדת במעקב אחר משתנה פיסיקלי יחיד.

כאשר נדרשה התמודדות עם מספר משתנים היה צורך להפעיל צוות תלמידים, או הניסוי היה הופך להדגמה על-ידי המורה. דא עקא, רוב התופעות בעולם האמיתי כרוכות בהרבה יותר מאשר משתנה יחיד! היכולת לחבר מספר חיישנים ולבצע דגימה בכולם.

במקביל, יכולה להביא להבנה מעמיקה יותר של התופעה הנבדקת. כמוכן, ככל שמספר החיישנים הניתנים לחיבור עולה, כך עולה גם מחיר המערכת, והיא מתרחקת יותר מהישג ידו של התלמיד. הפתרון לבעייה זו הינו בניית המערכת כמתקן מודולרי, המאפשר הפעלה ראשונית ברמת יסוד, והוספת מדידות רק באותם אירועים בהם הן נדרשות.

המדידה, או הדגימה, כמהוות רק גורם ראשוני בהתמודדות עם התופעות המדעיות או הטכנולוגיות איתן הוא מתמודד במעבדה. גורם חיוני בתהליך הלימוד הוא ניתוח התוצאות המתקבלות, בייחוד מכיוון שסביבת המעבדה הממוחשבת מאפשרת דגימה של משתנים מרובים. מסיבה זו, כלי הניתוח העומד לרשות המשתמש משמעותי ביותר במכלול הקרוי MBL. בעיקרו, כלי הניתוח הינו מערך תוכנה, המאפשר רישום הנתונים הנמדדים, הצגתם, עיבודם והצגתם הגרפית. זו האחרונה חיונית לצורך הכללה והטעמה של תופעות מורכבות או מרובות משתנים.

התוכנה התומכת באוגר מאפשרת לעבוד באופני עבודה מגוונים כגון תכנות מראש של כל הפרמטרים (כגון זמן ההפעלה, מספר הדגימות, המרווח ביניהן וכו') ועד להפעלה ידנית תוך לחיצה על לחצן אתחול.

התוכנה כוללת גיליון אלקטרוני בסיסי זהה לגיליון ה-CHIC, ועובדת גם עם מערכות ניתוח כמו לוטוס, קוואטרו או פסיפס. התוכנה תומכת בכרטיס ובמדפסת המחברים בו-זמנית, כך שהמשתמש אינו נאלץ לוותר על ניצול המערכת. אוגר הנתונים מסופק יחד עם הספק תייל מחבר לשקע מדפסת ותוכנה תומכת. עלות הגירסה הבסיסית (הכוללת 32 kbytes זיכרון) \$250+ מע"מ. חלק בלתי נפרד ממערכות המדידה הן מערכות חיישנים/מתמרים: לטד מכלול של מערכות חישה (חלקן בשלבי פיתוח), ביניהן: חיישני אור, חום, מוליכות, לחות מהירות, מיקום, מתח, זרם, מגע, לחץ ועוד.

ל"טד" גם מערכות שליטה מלוות, הניתנות לחיבור לאוגר הנתונים או למערכת ה-CHIC כמו: נורה, גוף חימום, מאוורר, מערכות הממירות אות סיפרתי לאנלוגי, ממסר ועוד.

בנוסף, "טד" מציעה סדרה מערכות נלוות כמו: מפצל לחיבור כרטיס ומדפסת, שקע מדפסת, כרטיס ממשק מקבילי (לחיבור בתוך המחשב), מערכות הספק להפעלת מערכות תובעניות יותר ועוד. עקב חדשנותו של עולם המעבדה הממוחשבת, גורם חיוני בהפעלת המערכת הוא ערכות למידה מתאימות. בנושא זה, האתגר ביצירת ערכת למידה הינו גדול במיוחד - מחד, התחום חדשני ויש ללוות את העוסקים בו ליווי צמוד והדרגתי. מאידך, יתרונה של המעבדה הממוחשבת - בייחוד על פי גישת "טד" - הינו בפתירותה ובגמישותה, ואסור להפוך את הפעילות בה לסגורה, סמכותית ושבלונית. "טד" ואנשיה מתמחים בכתיבת חומרי לימוד גמישים, מובנים וקליטים על ידי התלמידים במגוון רמות לימוד.

ביבליוגרפיה

1. "מחר '98" - דו"ח הוועדה העליונה לחינוך מדעי וטכנולוגי, משרד החינוך והתרבות - אוגוסט 1992.
2. ראה מאמר סקירה על נושא זה ב"תהודה" 15(2) עמ' 45, וכן 2 מאמרים המתארים מערכות של חברות אחרות, באותה חוברת עמ' 49, 52.

בהספק כולל של עד 15W. מתח המוצא של המערכת הוא 5V, מתחי המבוא 0-5V. מערכת ה-CHIC מלווה בתוכנה יעודית, בסביבת DOS, המאפשרת הפעלה (דגימה ושליטה) על בסיס תרשים זרימה.

כך מתאפשר מגוון של פעילויות דגימה ושליטה, על התקנים מגוונים בעולם החיצוני. מערכת הניתוח כוללת גיליון אלקטרוני בסיסי.

זה מאפשר יכולת ניתוח נוחה ופשוטה המכסה את רוב צרכי הפעילות החינוכית (כולל הצגה גרפית נוחה). לשם עיבודים מתקדמים יותר ניתן לייצא את קצבי המדידות לכל תוכנה בעלת מנגנון קלט מתאים, סטנדרטי, כגון גיליון אלקטרוני (לוטוס, קוואטרו, פסיפס).

התוכנה מסוגלת לטפל בכרטיס ומדפסת המחברים בו-זמנית, כך שהמשתמש אינו זקוק לתהליך התקנה מוגע, מחד, ואינו נדרש לוותר על מאום מיכולתה הקיימת של מערכת המיחשוב.

התוכנה הניתוח וההפעלה הבסיסית מסופקת לצרכן יחד עם כרטיס החומרה, הספק ותיילים הנדרשים להפעלה (מכלול מלא) ועלות המכלול היא כ- \$150 + מע"מ לצרכן.

ב. מערכת DL (Data Logger) אוגר נתונים.

אוגר הנתונים (מערכת ה-Data Logger) הינו מערכת ייחודית בהיותה מסוגלת לעבוד בסביבתו הטבעית של הלומד, ללא צורך בנוכחות מחשב בשלב הדגימה.

קצב הדגימה של המערכת גבוה ביותר (עד כדי דגימה אחת כל מיליונית השניה). יכולת אגירת הנתונים ניתנת להרחבה עד 256 kbytes, מה שנותן למערכת יכולת דגימה וכוח עצומים: לדוגמה - בתהליך המערב דגימה של 4 משתנים בקצב של עשר דגימות למשתנה כל שנייה, המערכת יכולה לאחסן נתונים במשך יותר מ-10 שעות!

ה-D.L. ניתן לחיבור לשקע מדפסת לתקשורת טורית RS232, או לתקשורת דרך כרטיס מקבילי (מצוי אף הוא בסל המוצרים של טד). ה-D.L. מסוגל לשלוט על מערכות חיצוניות וניתן לחבר אליו מערכות שליטה מגוונות. אוגר נתונים יכול לטפל (בו זמנית) ב-4 חיישנים וישנו גם כרטיס הרחבה המאפשר טיפול ב-4 חיישנים נוספים. האוגר מסוגל לזהות את סוג החיישן המחובר אליו (מתוך 16 חיישנים שונים). האוגר מסוגל לעבוד הן כמערכת עצמאית - Stand-Alone, והן כמערכת המחוברת אל המחשב On-line.