

סביבת ויזואליזציה על הסף בין התוכנה לחומרה

חבור לשם קבלת התואר
דוקטור לפילוסופיה

מאת
ססיל יחזקאל

מנחים
פרופ' מרדכי בן-ארי, פרופ' טומי דרייפוס

מוגש למועצה המדעית
של מכון ויצמן למדע
רחובות, ישראל

סיוון תשס"ד

תקציר עבודת הדוקטורט

מטרת עבודה זו להעריך סביבת ויזואליזציה שפותחה להוראת "ארכיטקטורת של המחשב ושפת סף" (assembly language), וכן לנסח עקרונות מנחים לפיתוח סביבות ויזואליזציה שנועדו לתחום זה.

שפת סף הינה שפת התכנות הקרובה ביותר לשפת מכונה. כל הוראה בשפת סף מהווה תיאור מילולי של הפעולה המתרחשת בעת ביצועה של הוראת מכונה. מעקב אחר תיאור דינמי של תהליך ביצוע תוכנית בשפה זו חיוני כדי להדגים כיצד פועלים המרכיבים הפיזיים של המחשב. מרכיבים אלו מתאפיינים במנגנוני פעולה מורכבים שתלמידי מתקשים להבין. קושי זה, הווה את המניע לפיתוח סביבת ויזואליזציה תומכת שיעודה להמחיש את הדינאמיקה של תהליך ביצוע התוכנית וזרימת הנתונים במחשב. סביבת הויזואליזציה פותחה כדי להקיף את התכנים הבסיסיים במטרה להקל על הבנת מבנה המחשב ומכאן שמה EasyCPU. הסביבה מציגה מודל סכמתי של מחשב הכולל את היחידות העיקריות: המעבד, התקני קלט/פלט פשוטים וזיכרון. היא מאפשרת להדגים את מעברי המידע בין היחידות השונות במהלך ביצוע ההוראות, ובד בבד היא מספקת את הכלים להקניית המיומנויות הבסיסיות בתכנות בשפת סף ברמה התיכונית (עורך, מהדר ומנפה שגיאות). כדי לתמוך בתהליך ההוראה בסביבה (בה הלמידה מבוססת על תהליך אינטראקטיבי בין התלמיד לסביבת הויזואליזציה), פותח סט של פעילויות המותאמות למודל המחשב המוצג בויזואליזציה והמאפשר לימוד הדרגתי של תכני תוכנית הלימודים.

פיתוח של סביבת הויזואליזציה מחייב קבלת החלטות מהותיות הנוגעות לבחירת המודל אשר אותו יש להציג לתלמיד בסביבת הויזואליזציה – מודל של מחשב אמיתי, מודל של מחשב פשוט או מודל היפותטי המותאם לתכני הלימוד ולקהל היעד. כל אחד מהמודלים ניתן להצגה במספר רמות הפשטה - מרמת החומרה (טרנזיסטורים, שערים לוגיים...) עד המודל המופשט ברמה של שפות עיליות. השיקולים העיקריים העומדים מאחורי בחירת המודל המתאים נוגעים לרמת ההפשטה ולרמת המורכבות. בנוסף פיתוח סביבת ויזואליזציה מחייבת בחירה של דרך יצירת האינטראקציה בין התלמיד לסביבה. הטיפול בסוגיות אלו הן חלק מתהליך גיבוש הקונספט הנוגע לאופן הצגת מודל המחשב ודרך הפעלת התלמיד ולכן

בחינת סביבת היוזאליזציה מחייבת מחקר שיטתי. לשם כך, המחקר התמקד בבחינה ובהערכת ההשלכות של הפתרונות שנבחרו באשר להשפעת סביבת היוזאליזציה על תהליך הלמידה.

כדי לקבוע קריטריונים ברורים למחקר הערכה נבנתה טקסונומיה ממוקדת בתחום של ארכיטקטורת המחשב עם בחינה של האספקטים הדידקטיים. הטקסונומיה בעלת מבנה דמוי עץ הכולל ארבע ענפים המאגדים קטגוריות מסודרות במספר רבדים.

בהמשך, באופן טבעי, הטקסונומיה שימשה כלי מחקרי לניתוחם של ממצאי מחקר הערכה המחולק לשלושה מחקרים נפרדים. שני מחקרים, הקשורים לדרך הצגת המידע ולדרך הפעלת התלמיד, התמקדו בניתוח תהליך ביצוע משימה בסביבת יוזאליזציה ונועדו לתת מענה לשאלה כיצד תלמידים משתמשים בסביבת היוזאליזציה. המחקר הראשון התמקד בתהליך ביצוע משימת ניתוח והמחקר השני התמקד בתהליך ביצוע משימת פיתוח. המחקר השלישי, הקשור למודל שיש להציג לתלמיד, התמקד במודלים המנטאליים המתגבשים בקרב תלמידים בעקבות החשיפה לסביבת היוזאליזציה EasyCPU במטרה להעריך את תרומתה להבנת פעולת המחשב ולגיבוש מודל המחשב בקרב אותם תלמידים.

מבחינה מתודולוגית, בכל אחד מהמחקרים הכלולים בעבודה זו נעשה שימוש בניתוח חזותי של נתונים איכותניים. זאת בשל הקושי לנתח תהליכים באמצעות נתונים איכותניים בשל כמותם, שונותם ומורכבותם. במיוחד כאשר מדובר בניתוח תהליכים ארוכים עתירי נתונים. לכן נעשה שימוש ב-"יוזאליזציה" של הנתונים בניסיון לנצל את כושרו של העיבוד היוזאלי האנושי המצטיין בעיבוד וניתוח מקבילי של כמות נתונים גדולה. מערכי המחקר וכלי המחקר המתוארים בעבודה זו ניתנים ליישום רחב יותר. הם יכולים לשמש דגם לעיצוב מתודולוגיה למחקרי הערכה של סביבות יוזאליזציה, סביבות הדמיה וממשקים גראפיים בתחומים שונים, ובפרט ממשקי תוכנה מקצועיים. הם יכולים לשמש להערכה מעצבת בכמה שלבים של תהליך הפיתוח.

במחקר הראשון הנוגע לתהליך ביצוע משימת ניתוח נבחנה השפעת סביבת העבודה על האופן שבו תלמידים מבצעים את המשימה. לשם כך נבדקו שתי קבוצות תלמידים הלומדים את היחידה ארגון המחשב ושפת סף בשתי סביבות שונות: סביבת היוזאליזציה EasyCPU וסביבת עבודה מקצועית (Turbo Assembler) TA). ממצאי המחקר מראים כי תלמידי EasyCPU ו-TA מאמצים דרכים שונות כדי לבצע את אותה משימה. היוזאליזציה בסביבת ה-EasyCPU מאפשרת למשתמשים בה לעקוב אחר ביצוע התוכנית בצורה מעמיקה תוך עידון הדרגתי של שיטות ניפוי שגיאות. הנתונים מצביעים על כך שהשימוש בסביבת תורם להבנת תהליך ביצוע התוכנית על ידי המחשב. היות שתלמידי EasyCPU, בניגוד לתלמידי TA, אינם מתייחסים למחשב כאל קופסה שחורה – הלימוד בסביבתה מקנה להם את המיומנות להסתכל לתוך הקופסה על תהליך ביצוע התוכנית. בדרך הזו הם לומדים ומבינים את מנגנוני הפעולה של המחשב המוכללים בתוך הקופסה וכן את התהליך בו היא מבצעת את הוראות התוכנית.

במחקר השני הנוגע לתהליך ביצוע משימת פתוח ניבחנו כיצד השימוש במרכיבי סביבת היוזאליזציה מקדם את התלמידים בתכנות מערכת בקרה של מעלית. במשימה הוגדרו דרישות מערכת הבקרה באמצעות תיאור אופן התפעול הדרוש למעלית. על סמך התיאור, התלמידים הגדירו לעצמם מודל התנהגותי למעלית: מודל המתאר את מרכיבי המערכת ואת המצבים השונים שבהם היא עשויה להימצא כתוצאה מהאינטראקציה בין המשתמש

למערכת. במילים אחרות התלמידים נדרשו ליישם את המודל הסיבתי של מערכת בקרת המעלית באמצעות תכנות בסביבת הויזואליזציה על פי המודל ההתנהגותי. הממצאים מראים שסביבת הויזואליזציה מסייעת לתלמידים לתרגם את המודל ההתנהגותי של המעלית למודל סיבתי, ולכן היא מאפשרת להם לבצע אימות ישיר של המודל הסיבתי מול המודל ההתנהגותי כחלק מתהליך בדיקת נכונות התוכנית. על פי הממצאים, נראה שסביבת הויזואליזציה משחקת תפקיד חשוב בהובלת התלמידים אל הפתרון בתהליך ביצוע משימת פיתוח. דרך הפעלה זו מכשירה את התלמידים ליזום מגוון פרויקטי הדמיה של מערכות משובצות מחשב פשוטות וליישם.

ממצאי המחקר השלישי, הנוגע למשמעות המודל המוצג בויזואליזציה, מלמדים כי מודל המחשב המוצג מסייע לרוב התלמידים לעצב לעצמם מודל מנטאלי נכון. הלמידה בסביבת הויזואליזציה מקנה לתלמידים את המיומנות לחזות את תסריטי ביצוע ההוראות בהתאם למודל המוצג בויזואליזציה. מיומנות זו מכשירה אותם ל"קריאה והתמצאות" בתהליך ביצוע תוכנית בסביבת הויזואליזציה. פירוש הביטוי "קריאה והתמצאות" לדעת לאתר מידע, לפרש אותו, לדעת לעקוב אחר התהליכים המוצגים ולהביןם כפי שנמצא במחקר הראשון אשר מתייחס למשימת ניתוח. הויזואליזציה הופכת את המודל למוחשי ולכן התלמידים מתייחסים אליו כאל "יחיד ואבסולוטי". לעיתים בשל פירוש מוטעה של ההצגה הם מייחסים למודל תכונות שאין לו. הם נוטים לשלב במודל המוצג מרכיבים ממודלים ברמות הפשטה שונות שלמדו קודם וזאת למרות שהמרכיבים אינם מוצגים בויזואליזציה. מכאן שלמפתח צריכה להיות מודעות לפירושים אפשריים של סביבת הויזואליזציה. חיוני להוביל את התלמיד לפירוש נכון של המודל הקונצפטואלי המוצג בסביבה ובעיקר להדגיש את מגבלותיה באמצעות הפעלה מושכלת בסביבה באמצעות משימות מותאמות לסביבה והסברים מילוליים בחומרי הלמידה הנלווים לה.

ממצאי המחקר מדגישים את החיוניות בליווי תהליך פיתוח סביבת ויזואליזציה על ידי מחקר מעצב קפדני שבו נבחנת בחירת המודל הקונצפטואלי ודרך הצגתו. בעבודה זו מוצגת גישה מחקרית שבה מפתחי סביבות ויזואליזציה יכולים לאמץ במסגרת המחקר המעצב.