

## מציאות גיאומטרית

כשהם חמושים במשקפי תלת-ממד ואזמל מנתחים ממוחשב, הסטודנטים במרכז לגרפיקה ממוחשבת וחישוב גיאומטרי מדמים ניתוחים כירורגיים מורכבים ומשחזרים איברים. אולם לא רק סימולציה רפואית נעשית במקום: החוקרים עוסקים גם בתכנון גיאומטרי מתקדם בתחומי הביטחון, הארכיטקטורה והאנימציה

ב־6 מיליון יורו, ובו השתתפו 13 קבוצות מחקר מ־7 מדינות באירופה, ביניהן אף המרכז לגרפיקה ולעיבוד גיאומטרי בטכניון. במסגרת הפרויקט פותחו שיטות חדשות לעיבוד גיאומטרי, ונבנה מאגר מקוון גדול (<http://shapes.aim-at-shape.net>) המכיל קובצי נתונים גיאומטריים בעלי מאפיינים שונים, לתועלת קהילת המחקר.

המרכז, מציין ברקת, אף משתף פעולה עם כמה גופים בתעשייה. "בתחום תכנון כלי הרכב, למשל, משתמשים בתוכנות תיב"מ שעושות שימוש מסיבי בחישובים גיאומטריים. יש 'מדפסות' תלת־ממדיות משוכללות שמאפשרות לייצר אובייקטים תלת־ממדיים פיזיים מתיאור דיגיטלי שלהם במחשב, וכך ניתן להדפיס 'במכה אחת' גופים שלא ניתנים להרכבה באמצעים אחרים – כמו פולימר תלת־ממדי מפותל. החלק שלנו נוגע



פרופ' גיל ברקת עוסק בגיאומטריה

צילום: אליה ליכשץ

לעיבודים הגיאומטריים המסובכים הנדרשים כדי שהמכונה תדפיס בסופו של דבר את האובייקט הנכון. טכנולוגיה זו שימושית גם בתחום הרפואי: מכונות כמו CT או MRI סורקות איבר בגוף האדם בסדרת חתכים מישוריים ("שכבות"), ובאמצעות אלגוריתמים גיאומטריים מתאימים אנחנו מסוגלים לשחזר את הצורה של האיבר ולהדפיסו. דגם פיזי זה של האיבר התלת־ממדי משמש את הרופאים או המנתחים לצורך אבחון הבעיה לעומקה ולשם תרגול 'יבשי' לקראת ניתוח."



### גיאומטריה בחלל

המחקר שנעשה במרכז עוסק גם בהיבטים תיאורטיים של התחום, כגון תכנון דחיסת כמה שיותר פריטים לתוך מרחב נתון ומוגבל. לדברי ברקת, אחד השימושים המשמעותיים והנחוצים ביותר הוא לצורך בניית חלליות. "בגוף החללית

המרכז לגרפיקה ממוחשבת וחישוב גיאומטרי של הפקולטה למדעי המחשב, השוכן בקומה הרביעית בבניין טאוב, נוסד באוקטובר 2001 על ידי שלושה חברי סגל: פרופ' גיל ברקת, שעוסק בגיאומטריה חישובית ומכהן כראש המרכז, פרופ' גרשון אלבר, שעוסק במידול גיאומטרי, ופרופ' חיים גוטסמן, שעוסק בגרפיקה ממוחשבת.

על הקשר שבין גרפיקה ממוחשבת לגיאומטריה מסביר ברקת: "בגרפיקה ממוחשבת יוצרים תמונות של סצינות תלת־ממדיות דמיוניות (וירטואליות). צורך זה מתעורר, בין השאר, בהפקת סרטי אנימציה ומשחקי מחשב. בין רכיבי המידע הדרושים לתיאור סצינות אלו יש מידע על הצורה התלת־ממדית והגיאומטרית של העצמים

בה, ומכאן שחשוב לפתח כלים וטכנולוגיות לעיבוד מידע מסוג זה. טכנולוגיות אלו רלוונטיות גם לעיבוד מידע גיאומטרי של עצמים תלת־ממדיים שמתחילים את חייהם כווירטואליים במחשב, אך בסופו של דבר עוברים תהליך של ייצור פיזי והופכים לעצמים אמיתיים. תהליכים אלו מוכרים, למשל, בתחום התיב"ם (תכנון וייצור באמצעות מחשב) המכני והאדריכלי."

### שחזור איברים ותרגול לקראת ניתוח

לדברי ברקת, חברי הסגל של המרכז מציעים כ־15 קורסים שונים שמכסים חומר רב בתחום הגרפיקה והגיאומטריה. נוסף על כך, הסטודנטים נהנים מהרצאות של אנשי אקדמיה בעלי שם ומומחים מהתעשייה, ומתנהל שיתוף פעולה עם מרכזים שונים ברחבי העולם וגופים דומים באוניברסיטאות בארץ. כך למשל לפני חודשים מספר, הסתיים פרויקט מחקר שתוקצב



## אופיר וובר (33), סטודנט במסלול ישיר לדוקטורט. פיתוח: דפורמציה באמצעות קואורדינאטות בריצנטריות מרוכבות

וובר סיים תואר ראשון בהנדסת מחשבים בטכניון, ואת חמש השנים הבאות בילה בעבודות שונות בחברות הייטק, ואף בסטודיו לסרטי אנימציה. חיפוש אחר אתגר הוביל אותו חזרה ללימודים בפקולטה. עתה הוא עובד במשותף עם הדוקטורנטית מירי בן חן, ובהנחיית פרופ' חיים גוטסמן, על מחקר ייחודי. "אנו מפתחים מנגנון מתמטי מעניין שמאפשר ליצור דפורמציה ואנימציה לתמונות דו־ממדיות ומודלים גיאומטריים תלת־ממדיים. בפועל, סימון של כמה נקודות בתמונה (או העצם התלת־ממדי) והזזתן מאפשרים ליצור אפקטים גיאומטריים ייחודיים. באופן זה ניתן ליצור גם אנימציה, אך המיקוד במחקר שלנו טמון בשינוי צורה באופן ויזואלי מוצלח, וצריך לזכור שיש הגדרות מתמטיות למושג 'מוצלח'". מניסיונו בתחום אומר וובר כי "אין דבר שמתקרב לזה בכלים המסחריים מבחינת היכולות. אני בטוח שאמנים רבים היו מוצאים בזה עניין. התחלנו בתהליך של רישום פטנט לטכנולוגיה".

## אמיר וקסמן (28), סטודנט לדוקטורט. פיתוח: שחזור גרפי של עצמים תלת־ממדיים מחתכים לצרכים רפואיים



מחזור עבודת המחקר של אמיר וקסמן

וקסמן החל את עבודתו עם פרופ' ברקת, מנחה הדוקטורט שלו כיום, במסגרת פרויקט לתואר ראשון שנעשה בשיתוף עם חברת אלביט. בעקבות הצלחת הפרויקט הציע ברקת לוקסמן להמשיך את הפיתוח במסגרת עבודת המחקר לתואר שני, ועתה הוא שוקד על מחקר לדוקטורט. עבודתו של וקסמן עוסקת בשחזור גיאומטרי של עצמים מחתכים תלת־ממדיים שמתקבלים ממערכות הדמיה רפואית כמו CT ו-MRI. המחקר החל בחקירת צורות, המשיך בניתוח סוגי חתכים, והתקדם לשחזור צורות תלת־ממדיות מאותם חתכים. "ניסינו לגשת לנושא החתכים מכיוונים שטרם נחקרו. בין היתר פתרנו בעיות הנוגעות לחתכים חלקיים וחתכים בעלי צורות גיאומטריות מגוונות", אומר וקסמן, ומציג על מסך המחשב שלו סרטון שמדגים כיצד חתכים מקבילים של ריאה הופכים לאחר השחזור לאיבר שלם וברור.

שחזור גיאומטרי של עצם תלת־ממדי מחתכים

יש לדחוס כמות עצומה של פריטים. אנחנו רוצים למצוא את הפתרון הטוב ביותר בהתאם לתנאים שהוגדרו מראש, דהיינו, לפתור בעיית אופטימיזציה גיאומטרית. שאלות אלו מעסיקות גם את מתכנני השבבים האלקטרוניים שמחוץ לכותלי המוסדות האקדמיים, שנדרשים לשבץ בתוך מלבן זעיר אלמנטים רבים". ברקת מספר בהתלהבות על תחומים נוספים שצורכים תכנון גיאומטרי מתקדם, ומזכיר מערכות ביטחוניות, ארכיטקטורה, משחקי מחשב, אנימציה ועוד.

## דני אלכוחר (26), סטודנט לתואר שני. פיתוח: סימולציה גרפית ופיזיקלית לצרכים כירורגיים

אלכוחר פיתח, בהנחייתו של פרופ' גרשון אלבר, סימולציה גרפית ופיזיקלית יישומית שמאפשרת למתמחים בתחום הרפואה להתאמן בהדמיית ניתוחים בסביבת "מציאות מדומה". ההדמיה נעשית באמצעות משקפי תלת־ממד (עם תצוגות ממוזערות) המצוידים בחיישני תנועה, ואזמל מנתחים ממוחשב ("haptic") שמדמה תחושה אמיתית של תנועה ומגע. "הכלי מאפשר לצפות ולחוש את מרקם העור וגמישותו, ובאופן זה ניתן ללמוד ולהתכונן לקראת ניתוחים אסתטיים ושחזורים שונים. האזמל, הממוקם במתקן המאפשר תנועה מכנית, מדווח לתוכנה על מיקומה במרחב (עם שש דרגות חופש), והתוכנה, מצדה, מזינה בחזרה את המתקן ב'תחושה'. משקפי התלת־ממד מאפשרים ראייה סטריאוסקופית 'אמיתית' של הנעשה", הוא מסביר, ומדגיש כי לפיתוח יש פוטנציאל רב בשוק הרפואי, מכיוון שהוא מאפשר למתמחים ולמנתחים להתאמן ללא הגבלה ולצבור ניסיון רב, בטרם ייגשו לבצע פעולות כירורגיות במנותחים. המחקר מלווה על ידי פרופ' ירון הר שי, רופא המתמחה בכירורגיה פלסטית ותורם מניסיונו לשיפור הכלי.



צליל: אליהו לביש

דני אלכוחר מבצע כירורגיה וירטואלית

