

האוניברסיטה הפתוחה
המחלקה למתמטיקה ולמדעי המחשב



האוניברסיטה הפתוחה
The Open University of Israel

גרפיקה ממוחשבת – יחידת לימוד
למגמת הנדסת תוכנה (חלק תאורטי)

עבודה מסכמת זו מוגשת כחלק מהדרישות לקבלת תואר
"מוסמך למדעים" M.Sc. במדעי המחשב
באוניברסיטה הפתוחה
החטיבה למדעי המחשב

על-ידי
שרון עבודי

העבודה הוכנה בהדרכתה של ד"ר אלה צור

יוני 2013

תוכן עניינים

3	מבוא
4	1. סקירת תכנית הלימודים במגמת 'הנדסת תוכנה'
4	1.1 לימודי מדעי המחשב
4	א. מדעי המחשב א'
5	יחידת התנסות במעבדה
6	ב. מדעי המחשב ב'
7	2.1 תכנון ותכנות מערכות
10	3.1 תכנון ותכנות מערכות גראפיות
14	2. דיון בדרכים אחרות להצגת נושאי הלימוד
15	1.2 ייצוג גופים תלת-ממדיים
19	2.2 הטלות
21	3.2 הסתרת משטחים נסתרים
23	4.2 הצבע
25	5.2 תאורה
28	6.2 הצללה
29	3. השוואה בין תוכניות לימוד 'גרפיקה ממוחשבת'
33	4. יעדי הגרפיקה הממוחשבת
35	סיכום
36	ביבליוגרפיה

מבוא

בבתי ספר רבים בארץ נלמדת "מגמת מדעי המחשב". המגמה מאפשרת ללומדיה לצבור 5 יח"ל ובה נלמדת שפת תכנות אחת (java או C#) באופן מעמיק, לצד הכרות עם פרדיגמה תכנותית אחרת. מגמת "הנדסת תוכנה" מהווה הרחבה של מגמת "מדעי המחשב". היא נלמדת בחלק מבתי הספר התיכוניים. במהלך שלוש שנות לימוד המגמה, נלמדים 5 יחידות הלימוד של מגמת "מדעי המחשב", 5 יחידות לימוד ב"תכנון ותכנות מערכות" ו-5 יחידות לימוד בתחום המדעים. סה"כ 15 יח"ל במגמת "הנדסת תוכנה" שמתוכן 10 בתחום מדעי המחשב.

שלוש מתוך 10 יחידות הלימוד הינן יחידות חובה שבמסגרתן לומדים התלמידים תכנות בשפה מונחית עצמים, אולם את שאר היחידות הנוספות בוחר בית-הספר מתוך מספר חלופות. במהלך העבודה אסקור את יחידות החובה ואת החלופות השונות.

במסגרת לימודי "תכנון ותכנות מערכות" יש להגיש פרויקט באחת מתוך שבע חלופות. אחת החלופות נקראת "תכנון ותכנות מערכות גראפיות", ובעבודה המסכמת אתמקד בחלופה זו.

מטרת הלימוד בחלופה זו היא רכישת ידע בפיתוח יישומים גראפיים בסביבה חלונאית. הידע כולל היכרות עם מבני נתונים ואלגוריתמים בגרפיקה דו-ממדית ובגרפיקה תלת-ממדית, והכרות עם תכנות מונחה עצמים בסביבה גראפית. בסוף הלימוד על התלמידים לפתח פרויקט גראפי בשפת תכנות מונחית עצמים.

כיום מעטים המורים שמלמדים חלופה זו עקב מספר סיבות שאחת מהן, אם לא העיקרית היא, שאין בנמצא ספר מסודר הכולל את כל החומר הנדרש, וכתוצאה מכך נדרשים המורים לאתר את המידע במקורות שונים. בשנות ה-90 יצא לאור הספר "גרפיקה ממוחשבת" בהוצאת בית הספר לטכנולוגיה של האוניברסיטה הפתוחה (מתורגם). הוא כולל את חומר הלימוד ואף מרחיב אותו, אך אינו מתאים להוראה בבתי ספר תיכוניים ואינו מותאם לשפות מונחות עצמים הנלמדות בהם.

מאחר ובמשך למעלה מ-10 שנים אני מלמדת את החלופה בצורה חלקית ולא מסודרת, ומאחר ואני מעוניינת להמשיך ללמודה ובמלואה ואין ספר לימוד בנמצא, בחרתי לכתוב את היחידה כך שתתאים לנושאי החובה בתכנית הלימודים החדשה, ולשפות תכנות מונחות עצמים (ביחידה ישנם נושאי אתגר לתלמידים מתקדמים שאין חובה ללמודם, ואל רובם לא התייחסתי).

לאור ההיקף הרחב של יחידת הלימוד, ובתיאום עם המנחה ד"ר אלה צור, ריכזתי וערכתי את הנושאים הנלמדים בכיתה י"ב, הכוללים את הגרפיקה התלת-ממדית בלבד.

בעבודה המסכמת, ערכתי סקירה של תכנית הלימודים כפי שפורסמה על-ידי משרד החינוך, הן לימודי החובה והן החלופות השונות, ובפרט הרחבתי בתכנית הלימודים של "תכנון ותכנות מערכות גראפיות". לצורך כתיבת יחידת הלימוד, בחנתי ספרי לימוד ומאמרים שונים המציגים מגוון שיטות להוראת הנושאים הנלמדים ביחידה. את שיטות ההוראה המתאימות מבינהן, מבחינת הרלוונטיות ורמת הקושי, שילבתי ביחידת הלימוד, ובנוסף הבאתי התייחסות גם לשיטות האחרות אשר לא הוכנסו ליחידה.

בסיום יחידת הלימוד, הוספתי פרק הכולל הדרכה למתכנת הפרויקט. בנוסף, ערכתי השוואה בין תכני הלימוד הקיימים בתכנית הלימודים כפי שהיא נלמדת בבתי הספר התיכוניים לבין אלו הנלמדים בשלוש אוניברסיטאות בארץ: אוניברסיטת תל-אביב, אוניברסיטת בן-גוריון ובטכניון, במסגרת קורס "גרפיקה ממוחשבת".

1. סקירת תכנית הלימודים במגמת 'הנדסת תוכנה'

בעקבות ההתפתחויות הטכנולוגיות במשק, בתעשייה ובתחום מדעי המחשב, נדרשה מערכת החינוך בישראל לבצע שינויים והתאמות במבנה ובתוכן הלימודים בכיתות י-יב במסלול הטכנולוגי. תכנית הלימודים החדשה לבתי הספר התיכון תוכננה משנת 1990 ויושמה בבתי ספר משנת 1995. פרסום התכנית מופיע במאמר (Gal-Ezer et al. 1995) ובמאמר (Gal-Ezer & Harel, 1999). Blum ו- Hazzan, Gal-Ezer מציינות במאמרו (Hazzan, Gal-Ezer & Blum, 2008) שעל-פי דו"ח שהוציא ארגון ACM, ישראל היא מהמובילות בעולם בתחום הוראת מדעי המחשב. הן מציגות מודל להוראת מדעי המחשב בבתי ספר תיכוניים, המבוסס על ההוראה בארץ, וזאת במטרה שמדינות אחרות יפעלו לפי מודל זה. עד שנת תשס"ד לימודי "מדעי המחשב" נלמדו ברמה של 5 יח"ל, אך החל משנת הלימודים התשס"ד עודכנה והורחבה תכנית הלימודים במדעי המחשב. המגמה המורחבת נקראת מגמת "הנדסת תוכנה", ואף היא נתונה לשינויים ומגמות שונות המתעדכנות מדי פעם. תכני הלימוד במגמת הנדסת תכנה מבוססים על עקרונות המדע והטכנולוגיה. הלימודים מתקיימים בסביבה ממוחשבת ובשימוש בתכנות מתקדם ביותר. התכנים הנלמדים מבוססים על ידע במתמטיקה, על עקרונות מדעיים ועל התנסות בכתיבת מערכת ממוחשבת.

מגמת הנדסת תוכנה נלמדת בבתי הספר התיכוניים בישראל במהלך שלוש שנות לימוד: בכיתות י-יב. לימודי המגמה מתחלקים באופן הבא:

1. לימודי מדעי המחשב (5 יח"ל) - יחידות אלו נלמדות בכל בתי הספר בהן נלמדת מגמת "מדעי המחשב" בלבד.
2. תכנון ותכנות מערכות - פרויקט שמהותו הוא תכנון וכתיבת תוכנה באחת מתוך שבע חלופות. (5 יח"ל)
3. מקצוע מדעי: ביולוגיה, פיסיקה, כימיה או טכנולוגיה. (5 יח"ל)

אסקור בקצרה את תכנית לימודי "מדעי המחשב" ואת החלופות ב"תכנון ותכנות מערכות". המידע נלקח מאתר המנהל למדע ולטכנולוגיה, מדעי המחשב וטכנולוגיות מידע.

1.1. לימודי מדעי המחשב

לימודי מדעי המחשב כוללים 5 יחידות לימוד, ומתחלקים למדעי המחשב א' ולמדעי המחשב ב'. מדעי המחשב א' כוללים שתי יחידות תיאורטיות – יסודות מדעי המחשב, ויחידת בחירה שהינה יחידת התנסות במעבדה. מדעי המחשב ב' כוללים יחידת חובה - עיצוב תכנה, ויחידת בחירה בנושאים תיאורטיים. להלן פירוט נושאי הלימוד.

א. מדעי המחשב א'

יסודות מדעי המחשב – 2 יחידות ראשונות.

מטרתן הקניית מושגי יסוד ועקרונות שעליהם מושתת תחום מדעי המחשב.

הנושאים העיקריים שנלמדים ביחידות אלו הם:

- הכרת המושג אלגוריתם, ופתרון בעיות באמצעותו.
- מושגים בסיסיים – פלט, קלט, משתנה, טיפוס משתנים, פעולת השמה.

- פונקציות ספרייה.
 - ביצוע מותנה.
 - תתי משימות : פונקציות/פרוצדורות.
 - מבני נתונים : מערכים חד-ממדיים ומערכים דו-ממדיים.
 - מחרוזות, סדר מילוני בין מחרוזות, פעולות על מחרוזות.
 - בעיות אלגוריתמיות : מיון, מיזוג.
 - היכרות ראשונית עם מושג העצמים והמחלקות.
- שפות התכנות בהן נלמדים הנושאים הן : java ו-#.c

יחידת התנסות במעבדה

יחידה זו מאפשרת לתלמידים להתנסות בפרדיגמה תכנותית שונה מתכנות מונחה עצמים. ישנן שש חלופות אפשריות. בסיום הלימוד, כל תלמיד נבחן על פרויקט שתכנת ברמה של יחידת לימוד אחת. החלופות המוצעות הן :

- מערכות מידע
במסגרת חלופה זו התלמידים לומדים להכיר מבנים, פונקציות והתנהגות של מערכות מידע. הם מתנסים בתכנון וביישום של מערכות מידע.
היחידה נלמדת בסביבת עבודה Access.

- תכנות לוגי
בחלופה זו התלמידים לומדים את עקרונות התכנות הלוגי ומממשים אותו בסביבת פרולוג. התלמידים מכירים טיפוסי נתונים (רשימות, עצים וגרפים) המאפשרים לייצג מידע, ולהשתמש בהם לפיתוח תכניות בסביבת פרולוג.

- גרפיקה ממוחשבת
בחלופה זו התלמידים לומדים להכיר את המבנה הפנימי של מערכת תוכנה גרפית תלת-ממדית, ואת עקרונותיה. הם לומדים דרכי ייצוג לנתונים גרפיים, ואלגוריתמים שונים המטפלים בנתונים. כמו כן, הם לומדים ליצור דגמים תלת-ממדיים ממוחשבים באחת משפות התכנות java או #.c.
ארגון המחשב ושפת סף

מטרת החלופה היא להכיר את מבנהו הפנימי של המחשב ואת אופן פעולתו. התלמידים לומדים מושגי יסוד במדעי המחשב, כמו סיביות, משתנה, לולאה, תכנית, ביצוע תכנית, זיכרון, וכן על הקשר שבין שפת סף לשפה עילית.

התלמידים לומדים הוראות בסיסיות בשפת אסמבלר ומיישמים תכניות בסביבת עבודה Easy CPU שפותחה על ידי המרכז הטכנולוגי בחולון.

- תכנות פונקציונאלי
מטרת החלופה לחשוף את התלמידים לפרדיגמה של תכנות פונקציונלי. וזאת תוך לימוד שפת התכנות Scheme (גרסת DrScheme). התכנית מסייעת בפיתוח חשיבה רקורסיבית, הכרות עם מאפיינים של ניסוח רקורסיבי והבנת המנגנון של תהליכים רקורסיביים.
התלמיד לומד לייצג נתונים מורכבים (רשימות, מטריצות, עצים) ולתכנת פונקציות לצורך עיבוד רשימות. בסוף היחידה על התלמיד לפתח פרויקט תכנותי.

▪ מבוא לתכנות בסביבת אינטרנט

מטרת חלופה זו היא לחשוף את התלמידים לרשת האינטרנט מנקודת מבט של עקרונות התכנות. התלמיד לומד על אופן פעולת הרשת, ונחשף לעקרונות העבודה שרת/לקוח באינטרנט. בסיום הלימוד על התלמיד לתכנן ולבנות אתר אינטרנט אינטראקטיבי הכולל שימוש במסד נתונים, מילוי טפסים, ביצוע בדיקות תוכן, ותכנות בצד השרת.

ג. מדעי המחשב ב'

2 יחידות רביעית וחמישית משלימות את מדעי המחשב אי' ל-5 יח"ל במדעי המחשב.

יחידה רביעית נקראת "מבני נתונים" והיא יחידת חובה.

יחידה חמישית נקראת "פרקי בחירה תיאורטיים במדעי המחשב", ומאפשרת בחירה באחת מתוך ארבע חלופות.

יחידה רביעית – מבני נתונים

היחידה מהווה הרחבה של הנלמד ביחידות מדעי המחשב א'. הלימוד מסתמך על שליטה ברמה הבסיסית של תכנות בשפת java או c#, וכולל שימוש בטיפוסי הנתונים המוכרים מערכים חד ממדים ודו-ממדים. היחידה עוסקת בבנייה ובעיבוד של מבני נתונים ידועים - מחסנית, תור, עץ בינארי, במימוש בעזרת מערכים ורשימות מקושרות, ובשימוש בהם בייצוג ובמימוש טיפוסי נתונים מופשטים. בנוסף נלמדים שני פרקי מבוא בעלי חשיבות כללית במדעי המחשב:

- רקורסיה – הכרות עם מבנה הרקורסיה, מעקב אחר פונקציות רקורסיביות מסוגים שונים, וכתבת פעולות רקורסיביות.
- יעילות – התלמידים לומדים את מושג יעילות האלגוריתם כפונקציה של סיבוכיות זמן הריצה.

יחידה חמישית- פרקי בחירה תיאורטיים במדעי המחשב

יחידה חמישית הינה יחידה תיאורטית וכוללת 4 חלופות לבחירה:

▪ מודלים חישוביים

מטרת החלופה לחשוף את התלמידים לתחום תיאורטי של מדעי המחשב, המתאר מכוונות חישוב באמצעות כמה מודלים. המודלים הנלמדים הם: אוטומט סופי דטרמיניסטי, אוטומט מחסנית ומכונת טיורינג. כמו כן, הם לומדים מושגים בסיסיים בתורת השפות הפורמליות, ואת תכונות משפחת השפות הרגולריות.

▪ תכנות מונחה עצמים

החלופה מהווה המשך ליחידות מדעי המחשב א', וליחידת "עיצוב תוכנה". היא ממשיכה את התכנים הנלמדים ביחידות אלו ומסתמכת עליהם. החלופה חושפת את התלמידים לעקרונות ולמנגנונים העיקריים הקיימים בשפות מונחות עצמים: מחלקות, העמסה, הגדרה מחדש, המרות, ירושה, פולימורפיזם, מחלקה מופשטת, וממשקים.

▪ חקר ביצועים

החלופה הינה בתחום מדעי מתמטי העוסק בפתרון בעיות מעשיות באמצעות ייצוג במודלים מתמטיים. רוב היישומים של חקר הביצועים עוסקים בפתרון בעיות אופטימיזציה. התלמידים

לומדים לפתור בעיה בשלבים. תחילה עליהם לנתח את הבעיה ולבנות מודל מתמטי המתאר את מרכיביה, אחר כך לפתח אלגוריתם לפתרון הבעיה, וכמובן לנתח את הפתרון שהתקבל ולבדוק האם הוא ישים.

▪ מערכות מחשב ואסמבלי

מטרת חלופה זו היא לסייע להבין את הקשר בין תוכנה לחומרה, ולהכיר את עקרונות פיתוח תכניות בשפת סף. התלמידים לומדים על מבנהו הבסיסי של המחשב- מהן היחידות השונות ומהו תפקידן, ועל אופן ביצוע ההוראות וזרימת המידע בין היחידות השונות. התלמידים לומדים על סוגי המידע המאוחסנים (הוראות, נתונים, הוראות בקרה, כתובות) ועל אופן אחסונם. הם לומדים את הפקודות בשפת Assembler, ואת שלבי הפיתוח והביצוע של תכנית.

1.2 תכנון ותכנות מערכות

בנוסף לחמש היחידות הראשונות במדעי המחשב, על תלמידי המגמה להגיש פרויקט מעשי שעיקרו תכנון ותכנות מערכת תוכנה באחת מתוך שבע התמחויות. על התלמידים להגיש פרויקט ברמה של 1 או 3 יח"ל, או עבודת גמר ברמה של 5 יח"ל.

אחת מהחלופות המוצעות הינה תכנון ותכנות מערכות גרפיות, עליה אני ארחיב את העבודה המסכמת. החלופות המוצעות לבחירה הן :

תכנון ותכנות מערכות - הגנת סייבר

מרחב הסייבר הוא המרחב הכולל מרכיבים שונים מציאותיים ווירטואליים- מערכות מחשב ומערכות תקשורת. למערכות אלו, ישנה השפעה על חייו היום יום של כל אחד, ולכן פגיעה בהן עלולה לפגוע למהלך החיים התקין. לכן, יש צורך ללמוד על הפגיעות האפשריות וכיצד להתגונן מפניהן. הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם :

- הכרות עם סוגי פגיעות ומטרותיהן, וכיצד משפיעה הפגיעה על המערכות.
- הכרות עם סוגי הגנות ברמת משתמש וברמת מערכת.
- הגנה על רשתות, פרוטוקולי תקשורת, שכבות התקשורת.
- הגנה על מערכות הפעלה.

תכנון ותכנות מערכות שרותי רשת אינטרנט - Web Services

מטרת התמחות זו היא לרכוש ידע בפיתוח יישום מבוסס בסביבה חלונאית המבוסס על רשת האינטרנט.

הנושאים שנלמדים בהתמחות קשורים לתכנות מונחה עצמים, ולעבודה ברשת. המימוש נעשה בשפת תכנות מונחית עצמים java, או #c.

הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם :

- עולם ה- Web – שרת, לקוח וההתקשרות ביניהם.
- תכנות מונחה עצמים מתקדם: הכמסה, הורשה, רב צורתיות, ממשקים, מודל האירועים, טיפול בחריגים.
- מסדי נתונים: המודל הטבלאי, שפת SQL.

- גישה וטיפול במקורות נתונים: תכנון מערכת מבוססת מסדי נתונים, ארכיטקטורת ADO.NET, התחברות למקורות מידע, טיפול במידע.
- תכנות בסביבת חלונות – אירועים, טיפול במקלדת ועכבר, פקדים שונים (Button, TextBox, Label וכד').
- בניית אתרי אינטרנט דינאמיים – הוספת פקדים שונים (Button, Label, TextBox וכד')
- שירותי רשת - Web Services.

תכנון ותכנות מערכות טלפונים ניידים

מטרת ההתמחות היא להקנות לתלמידים כלים המאפשרים לפתח תוכנה בממשק משתמש גראפי בשפת Java והרצתם על מכשירים חכמים (Smart Devices) כגון טלפונים סלולאריים, מחשבי כף יד וכו', וזאת על פי עקרונות הנדסת תוכנה. הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם:

- תכנות מונחה עצמים מתקדם: הכמסה, הורשה, רב צורתיות, ממשקים, מחלקות מופשטות, מחלקות פנימיות, טיפול בחריגים - Exception.
- ממשק משתמש גראפי (GUI- Graphic User Interface) ברמה נמוכה וברמה גבוהה.
- פקדים (Commands) ומאזינים לפקדים.
- אחסון נתונים ומערכת ניהול הרשומות.
- הכרות עם מחלקת Graphics ב-java.
- תכנות מקבילי בעזרת תת-הליכים - Threads ו Timer.
- תכנות משחקים Game API.
- טיפול בקול Sound API.

תכנון ותכנות מערכות הפעלה

מטרת התמחות זו היא להקנות ידע במערכות הפעלה, וליישם ידע זה בכתיבת יישומים המשתמשים בשירותי מערכת ההפעלה. מערכת הפעלה הינה תוכנה המתווכת (ממשק) בין החומרה ותוכניות היישום ומנהלת את משאבי החומרה. היא נותנת למתכנת כלים שתפקידם להקל עליו ועל המשתמש במערכת, ומאפשרת להריץ מספר יישומים בו-זמנית בצורה יעילה והוגנת. הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם:

- מבנה המחשב, מבנה ה-CPU, אחסון תכניות ונתונים בזיכרון, התקני קלט, התקני פלט.
- ייצוג מידע במחשב
- ביצוע הוראות בשפת סף
- ביצוע פסיקות
- מערכת הפעלה – תפקידיה ומאפייניה
- ניהול זיכרון
- תכנות מקבילי בעזרת תת-הליכים – Threads
- מערכת לניהול קבצים
- מערכת קלט/פלט
- הצורך בהגנה ובאמינות של מערכת ההפעלה

תכנון ותכנות מערכות מנהליות

מטרת התמחות זו היא לרכוש ידע בניתוח מערכות ובפיתוח יישומים מנהליים המבוססים על תכנות בסביבת חלונות - Windows application. תחום ההתמחות עוסק בניתוח, עיצוב ותכנות מערכות מידע, ומספק לתלמידים בסיס ידע, שיטות וכלים שבאמצעותם יוכלו לפתח מערכות מידע ארגוניות למטרות תפעוליות וניהוליות. פיתוח מערכות מידע כולל תכנון, חקר ישימות, ניתוח, עיצוב, ותכנות מערכת.

הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם:

- רשומות ועיצוב מבנה הנתונים.
- מפתח רשומה (ייחודי (Unique) וכפול (Duplicate), ראשי, משני וחיצוני).
- מודל טבלאי ושפת SQL : בחירה (SELECT), עדכון (INSERT, UPDATE, DELETE)
- לימוד על ארגונים ומערכות המידע שלהן.
- תהליך פיתוח מערכת מידע – שלבי הייזום, הניתוח, העיצוב, התכנות, הניסוי, הבחינה, התפעול והתחזוקה.
- תכנות Windows Forms בשפת C# - מודל האירועים, טפסים, תיבת כלים, פקדים.
- תכנות Windows application
- גישה וטיפול במקורות נתונים באמצעות ADO.NET
- כלים לתכנות יישומים מנהליים.

תכנון ותכנות מערכות מומחות

מטרת התמחות זו היא לרכוש ידע בפיתוח אפליקציה בתחום מסוים בבינה מלאכותית. במהלך הלימוד נחשפים התלמידים לסוגים שונים של מערכות תוכנה אינטליגנטיות, למבנה ולמאפיינים שלהן. הם לומדים את עקרונות פיתוח תוכנה בתחום הבינה המלאכותית מעמיקים באחד מן הנושאים (מערכות מומחות או תורת המשחקים) ומפתחים אפליקציות מבוססות בינה מלאכותית.

הנושאים העיקריים הנלמדים בהתמחות זו הם:

- בינה מלאכותית – מהי, כולל הדגמת בעיות קלאסיות בבינה מלאכותית, מאפייניהן ומורכבותן, גישות לפתרון בעיות בבינה המלאכותית וייחודיותן.
- שפת התכנות שתשמש לפיתוח : תכנות לוגי (פרולוג) או תכנות פונקציונאלי.
- שיטות לייצוג מידע : טיפוסים נתונים מופשטים, רשימות רקורסיביות, עצים וגרפים ומימושם בשפת התכנות.
- פתרון בעיות בגישה דקלרטיבית – ייצוגים שונים לבעיה, יעילות, אסטרטגיות בקרה, ייצוג משחק באמצעות מרחב מצבים.
- שיטות חיפוש.
- בחירה בין שני נושאים להעמקה : מערכות מומחות ותורת המשחקים.

החלופה השביעית הינה "תכנון ותכנות מערכות גראפיות", ועליה ארחיב בסעיף הבא.

1.3 תכנון ותכנות מערכות גראפיות

מכיוון שהעבודה עוסקת בעיקרה בלימודי תכנון ותכנות מערכות גראפיות בכיתה יב', ארחיב יותר בנושאי ההתמחות.

מטרת ההתמחות היא ללמוד פיתוח יישומים גראפיים בסביבה חלונאית. במסגרת ההתמחות מרחיבים התלמידים את ידיעותיהם בעקרונות שפת תכנות מונחית עצמים, ובמבני נתונים, ולומדים לבנות יישום גראפי המממש מנוע גראפי.

לימודי ההתמחות מתפרשים על שנתיים. בכתה יא' ההתמקדות היא בגרפיקה דו-ממדית, ובכיתה יב' בגרפיקה תלת ממדית.

ההתמחות משלבת בין לימודים עיוניים, ובין התנסות בעבודה מעשית ותרגול במחשב. חלוקת השעות היא כ-5 שעות שבועיות – לימודים עיוניים, וכ-10 ש"ש עבודה מעשית. כמו כן נלמדים במסגרת ההתמחות נושאים מתמטיים, ונושאים תכנותיים הקשורים לתכנות בסביבה חלונאית, המשולבים זה בזה.

פרויקטים ברמה של 3 יח"ל כוללים גרפיקה דו-ממדית, והפרויקטים ברמת 5 יח"ל כוללים גרפיקה תלת-ממדית.

הנושאים הנלמדים בכיתה יא' – גרפיקה דו-ממדית

נושאים תכנותיים :

- תכנות מונחה אירועים - Event.
- פקדים בסיסיים (Button, TextBox, Label)
- עבודה עם תיבות דו-שיח (Dialog box)
- המחלקה הגראפית - ציור ומילוי, עבודה בסיסית עם צבעים.
- צורות פלט בסיסיות : פיקסל, קווים, מלבנים, אליפסות, טקסט, עקומות.
- שיטות לקלט אינטראקטיבי : עבודה עם המקלדת ועבודה עם עכבר.
- הנפשה (Animation) – עקרונות, ושימוש בפקד Timer. הנפשת צורות בסיסיות.
- טיפוסים נתונים החיוניים ליישומים גראפיים : מערך עצמים גראפיים, מפת אובייקטים לוגיים, עץ רביעיות.
- שימוש בקבצי תמונה ביישומים גראפיים- סוגים בסיסיים של קבצי תמונה, יבוא תמונות.
- ייצוג גוף דו ממדי, ומימוש טרנספורמציות עליו במרחב הדו-ממדי.

נושאים מתמטיים :

- מושגים בגרפיקה ובגיאומטריה אנאליטית :
 - פיקסל ורזולוציה
 - צבעים וזיכרון מסך
 - קואורדינאטות קרטזיות
 - אורך הקטע
 - אמצע קטע
 - סימטריה
 - שיפוע קו
 - משפט פיתגורס : חישוב אורך הצלעות במשולש ישר זווית

- פונקציות \sin , \cos , \tan , atan : חישוב זוויות ואורך הצלעות במשולש ישר זווית.
- משוואת ישר.
- מצולע (Polygon)
 - קו שבור, מצולע, סוגי מצולעים (קמור וקעור).
 - ייצוג מצולע ואתחולו.
 - חישוב מרכז הכובד במצולע.
 - ציור ומילוי מצולעים.
 - מילוי צורות חופשיות המוגבלות ע"י גבול (flood-fill)
 - טרנספורמציות דו-ממדיות (Transformation)
 - בסיסיות : הזזה (Translation), סילום (Scaling), סיבוב (Rotation) מורכבות : סילום יחסית לנקודת שבת, סיבוב סביב נקודת ציר.
 - zoom : סילום והזזה יחסית לנקודת מרכז הצורה.
- נושאים אלגוריתמיים ליישומים גראפיים :
 - בדיקת הימצאות נקודה בתוך המלבן שצלעותיו מקבילים לצירים.
 - בדיקת חיתוך בין מלבנים.
 - בדיקת הימצאות נקודה בתוך העיגול.
 - בדיקת התנגשות בין העיגולים.
 - תנועה באלכסון ושינוי כיוון לאחר התנגשות בדפנות.
 - תנועה לפי המסלול הנתון ע"י פונקציה מתמטית.
 - בניית פרקטלים (Fractals) תוך שימוש ברקורסיה.
- מטריצות :
 - הגדרת מטריצה.
 - כפל מטריצות.
 - ייצוג טרנספורמציות דו-ממדיות באמצעות מטריצות.

הנושאים הנלמדים בכיתה יב' – גרפיקה תלת-ממדית

נושאים תכנותיים :

- יבוא גופים תלת ממדיים מיישומים של גרפיקה ממוחשבת.
- מבנה קובץ *.ase , הנוצר ב- 3D StudioMax.

נושאים מתמטיים :

- המרחב התלת ממדי :
 - נקודה, ומערכת צירים במרחב התלת-ממדי.
 - מטריצות המייצגות טרנספורמציות תלת-ממדיות.
 - בסיסיות : הזזה (Translation), סילום (Scaling), סיבוב סביב צירים x,y,z

• מורכבות : סילום יחסית לנקודת שבת, סיבוב סביב צירים

המקבלים לצירי x,y,z .

- הטלות :
 - הטלה מקבילית.
 - הטלה פרספקטיבית.
- מצולע תלת-ממדי :
 - קו שבור, מצולע, סוגי מצולעים (קמור וקעור).
 - ייצוג מצולע במרחב, ואתחולו.
 - ציור ומילוי.
- וקטורים במרחב תלת-ממדי :
 - הגדרה גיאומטרית ואלגברית של וקטור.
 - השוואה בין וקטור לנקודה.
 - פעולות על וקטורים ונקודות ושימוש בהן.
 - השוואת וקטורים.
 - אורך הווקטור .
 - חיבור וקטורים.
 - מכפלת וקטור במספר.
 - מכפלה סקלארית.
 - מכפלה וקטורית.
- כיוון של מצולע תלת-ממדי :
 - צד חיצוני ופנימי של מצולע.
 - שימוש בוקטורים להגדרת צד חיצוני ופנימי של מצולע.
- פאון – גוף תלת ממדי
 - פאון קמור/לא קמור.
 - ייצוג פאון.
 - הפעלת טרנספורמציות על פאון.
 - ציור פאון.
 - הסתרת משטחים נסתרים בפאון קמור.
 - בדיקת הימצאותה של נקודה במרחב החסום על יד פאון קמור.
 - בדיקת חיתוך בין פאוניים קמורים.
 - אתחול כדור, גליל, חרות כפאון.
- אוסף גופים במרחב התלת-ממדי :
 - מיון על פי עומק של מרכז הכובד.
 - שימוש ברשת(Grid).
 - סידור גופים בשורה בודדה, בשכבה ובין השכבות בעזרת רשת.
 - אלגוריתם הצייר.
 - אלגוריתם חוצץ העומק (Z-buffer).

- אלגוריתם לציור פאות משולבות ע"י עץ BSP.
- המרות כלליות של סצנה תוך שימוש ב-Camera.
- הצללה :
- מודלים של צבע (RGB, CMY).
- תאורה לפי עומק כפונקציה של Z.
- מודל תאורה פשוט (Flat), חוק למברט (Lambert).
- מודלים מתקדמים של תאורה (GOURARD, PHONG).
- הטלת צל של גוף תלת- ממדי על המישור,
- עקרונות של Texture Mapping.

חלק מן הנושאים המופיעים בפירוט הינם נושאי אתגר, המתאימים לתלמידים מתקדמים, ואין חובה ללמדם.

בעבודת הגמר של התלמידים הם מתבקשים ליישם 60% מהחומר הנלמד.

2. דיון בדרכים אחרות להצגת נושאי הלימוד

המטרה המרכזית בכתובת יחידת הלימוד הינה לאפשר לכל תלמיד תיכון שלמד תכנות בשפת java ללמוד את נושא הגרפיקה הממוחשבת, כדי שיוכל להשתמש בו ביישומים גראפיים. בגלל ההיקף הרב של היחידה התמקדתי בחומר של כיתות יב' בלבד. מכיוון שהיחידה מיועדת להילמד בבתי ספר תיכוניים, ומאחר ולא כל תלמידי מדעי המחשב לומדים מתמטיקה ברמה של 5 יח"ל, הוספתי רקע מתמטי הנדרש ללימוד, ובעיקר השתדלתי לפשט את הנושאים כך שייצוג המידע ומימוש האלגוריתמים יהיו אינטואיטיביים יותר להבנה ויכילו פחות חישובים מתמטיים. נושא הגרפיקה הממוחשבת נלמד גם באוניברסיטאות ברמה גבוהה יותר. האלגוריתמים הנלמדים בהן מכילים חישובים מתמטיים מורכבים יותר. נעזרתי בספרים ובמאמרים שונים המטפלים בנושא ברמה אוניברסיטאית כדי לקבוע בסופו של דבר מהי הדרך הפשוטה ביותר להורות אותם בתיכון. בפרק זה של העבודה, אתייחס להצעות שונות המוצגות בספרים ובמאמרים ללימוד הנושאים השונים ביחידה. סדר הנושאים יהיה על-פי סדר לימודם ביחידת הלימוד.

Sung ו-Shirley עוסקים במאמרם (Sung & Shirley, 2006) באופן שבו צריך להילמד נושא הגרפיקה הממוחשבת. הם מעלים שתי גישות עיקריות: מלמטה למעלה (גישת Down-Top) ומלמעלה למטה (Down

גישת ה-Down-Top להוראת הגרפיקה הממוחשבת מציגה את הנושא באופן מדורג החל באלגוריתמים לציור קו, ציור מצולע, מילוי מצולע וכו'. לימוד בשיטה זו דורש ידע מוקדם במתמטיקה ובגיאומטריה במישור ובמרחב.

היתרון בשיטה זו שהלימוד הבסיסי מקנה ידע המקל על הלומדים להבין את ההמשך - כל רמה נבנית על הרמה שלפניה. החיסרון בשיטת לימוד זו הוא שמקדישים זמן רב לאלגוריתמים הבסיסיים ולא תמיד מגיעים לבניית תוכנה מורכבת. Shirley ו-Sung טוענים ששיטת לימוד זו מתאימה לצעירים הלומדים בקורס בגרפיקה ממוחשבת ראשוני בלימודי התואר הראשון. קורס הנבנה בגישת Down-Top מהווה בסיס איתן ללימודי גרפיקה ממוחשבת מתקדמים. ההנחה היא שבהמשך לימודיהם יתקדמו התלמידים ליישומים מורכבים יותר.

על-פי גישת Top-Down מתחילים במשימה הסופית, מפרקים אותה בהדרגתיות לחלקים קטנים יותר ויותר המגיעים בסופו של דבר ליחידות הבסיסיות הנלמדות בגישת ה-Down-Top. על-פי שיטה זו נעזרים בספריות גראפיות לבניית היישומים המורכבים, ומתייחסים לפונקציות הקיימות כאל קופסאות שחורות שאין צורך לדעת כיצד הן ממומשות. גישה זו לפי דעת הכותבים מתאימה ללומדים בוגרים הנמצאים בשלב מתקדם יותר בחייהם הלומדים את הנושא לצורך מעשי.

בתכנית הלימודים של משרד החינוך, החומר בכיתה יא' כולל את לימוד האלגוריתמים הבסיסיים ואת לימוד בניית הממשקים למשתמש. בגישת Down-Top – כגון: אלגוריתם לציור ישר (על-ידי ציור נקודות), אלגוריתם למילוי מצולע סגור (flood fill), וכד'.

בכיתה יב' לעומת זאת מלמדים גם בגישת ה-Top-Down כאשר נעזרים בספריית awt ב-java המכילה את כל המחלקות המאפשרות יצירת ממשקי משתמש, ציור, גרפיקה ותמונות. למשל נעזרים בפעולה: drawLine לציור קו, ובפעולה fillPolygon למילוי מצולע.

Bresenham, Laxer, Lansdown, Owen & Larrondo-Petrie היושבים בפאנל בכנס השנתי ה-21 של "גרפיקה ממוחשבת", מציגים את לימוד הגרפיקה הממוחשבת כפי שנלמדת בתחומי לימוד מגוונים

(Bresenham, Laxer, Lansdown, Owen & Larrondo-Petrie, 2004). כל משתתף מתייחס לתחום העניין שלו.

Bresenham – הגישה ה"מערכתית"

יש ללמד עקרונות בסיסיים כגון: ייצוג מודלים גראפיים, תכונות, הקשרים הדדיים בין הגופים, טרנספורמציות, חיתוך תמונות וכד'. הוא שם דגש בלימוד על ה-מדוע, ולא על ה-איך. אם הלימוד ייתן דגש לשאלה -מדוע, התלמידים יבינו מדוע לייצג באופן כזה או אחרת, ויבינו גם כל חריגה מהכללים. ניתוח והבנה יסייעו בבניית מבנה עקבי ושלם, למשל כאשר יצטרכו לבנות מערכת על-פי מפרט מוגדר.

Lansdown – הגישה ה"אומנותית"

לימוד התכנות ניתן לתלמידי התואר השני. לתלמידים לתואר ראשון ניתנות חבילות של פונקציות גראפיות בהם הם יכולים להשתמש. התלמידים לתואר שני לומדים בצורה הדרגתית את הנושאים השונים (לא מפורט אלו נושאים), כך שיוכלו ליישם פעולות שאינן קיימות בחבילות הפונקציות המוכנות.

Laxer – גישה "הנדסית"

הקורס מיועד לסטודנטים הלומדים מדעי המחשב, הנדסת תוכנה, הנדסת אלקטרוניקה, מתמטיקה ופיסיקה. מטרת הקורס היא שכל סטודנט יפתח לעצמו ספרית פונקציות גראפיות. הסטודנטים לומדים אלגוריתמים לציור קו, עקומות, מילוי שטחים, חיתוך תמונה. הם מממשים אותם ומשתמשים בהם לציור תמונה. עיקר הקורס הבסיסי עוסק בגרפיקה דו-ממדית ובסופו נותן חשיפה קטנה לעולם התלת-ממדי שיילמד בקורס מתקדם בגרפיקה ממוחשבת.

Owen – הגישה ה"מדעית"

ישנן שתי גישות שונות בלימוד בתחום המדעי: הגישה המסורתית גורסת כי יש ללמד את הטכניקות הנדרשות לנושאים המדעיים: פיקסלים, ציור קוים, מצולעים, טרנספורמציות, ומודל הצללה. רוב הקורס עוסק בגרפיקה דו-ממדית ומעט בגרפיקה תלת-ממדית. הגישה ההפוכה לגישה זו, משלבת תחומים מדעיים וגראפיים. לדוגמא: Owen מתחיל בפיסיקה בסיסית של מפגש האור עם משטח (מודל תאורה פשוט), עוסק בתאורה גלובלית, ונקודתית, החזרת אור, ומיפוי מרקמים. לאחר מכן הוא עוסק בהשוואה בין אלגוריתמים המדמים תאורה בתמונה ממוחשבת. רוב הקורס עוסק בגרפיקה תלת-ממדית, ומעט בדו-ממדית.

בסעיפים הבאים יתוארו דרכים שונות ללימוד נושאים הנלמדים בכיתה יב' בהתמחות "תכנון ותכנות מערכות גראפיות" תוך התייחסות לדרך הוראתם ביחידת הלימוד המצורפת, המהווה חלק מהעבודה המסכמת.

2.1 ייצוג גופים תלת-ממדיים

במאמרים ובספרים גופים תלת-ממדיים מיוצגים בדרכים מגוונות. ביחידת הלימוד בחרתי לייצג גופים בעזרת מערך של קדקודים, ומערך של מצולעים. בתחילת תהליך כתיבת יחידת הלימוד ייצגתי מצולע בפאון כמערך של **מספרי הקדקודים** של הגוף, כדי לחסוך במקום אחסון, וכדי להימנע משמירת נתונים מספר פעמים – מאחר וכל קדקוד משתתף בכמה מצולעי הגוף.

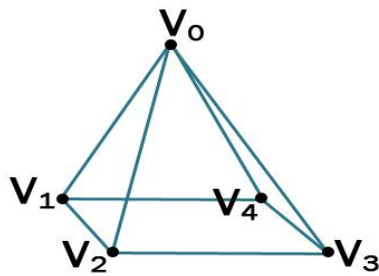
נתקלתי בבעיה במימוש פעולות במחלקת Polygon3D בה נדרשתי לבצע פעולות על המצולע התלת-ממדי כגון: חישוב משואת המישור, בדיקה האם הפאה נגלית או נסתרת. בכל אחת מן הפעולות נדרשה העברת מערך הקדקודים כפרמטר, ולכן ויתרתי על החיסכון במקום, לטובת אחסון הפרטים המלאים של המצולע, והשתמשתי במערך של ערכי הקדקודים עצמם.

Baker ו-Hearn בספרם (Hearn & Baker, 1996) מציעים לאחסן נתוני גוף תלת ממדי בעזרת:

▪ טבלת קדקודים (Vertex table),

▪ טבלת צלעות (Edge table)

▪ וטבלת מצולעים (Polygon surface table).



איור 1: דוגמא לפירמידה אותה מייצגים בעזרת מערך של קדקודים, מצולעים וצלעות

על-פי ייצוג זה, ייצוג הפירמידה שבאיור 1 יהיה:

כל קדקוד מיוצג על-פי 3 הקואורדינאטות (x,y,z) .

טבלת הקדקודים תיוצג בעזרת מערך של קדקודים.

$V_0: (x_0,y_0,z_0)$

$V_1: (x_1,y_1,z_1)$

$V_2: (x_2,y_2,z_2)$

$V_3: (x_3,y_3,z_3)$

$V_4: (x_4,y_4,z_4)$

טבלת הצלעות תיוצג בעזרת מערך של צלעות, שכל אחת מהן מורכבת מהפניות לשני קדקודים ביניהם היא עוברת.

$E_0: V_0, V_1$

$E_1: V_0, V_2$

$E_2: V_0, V_3$

$E_3: V_0, V_4$

$E_4: V_1, V_2$

$E_5: V_2, V_3$

$E_6: V_3, V_4$

$E_7: V_4, V_1$

טבלת המצולעים מיוצגת בעזרת מערך של הפניות לצלעות המרכיבות את הפאה.

$S_0: E_4, E_5, E_7, E_8$

$S_1: E_0, E_4, E_1$

$S_2: E_1, E_5, E_2$

$S_3: E_2, E_6, E_3$

$S_4: E_0, E_7, E_3$

כדי לשלוף נתונים במהירות רבה יותר ניתן להרחיב את הטבלאות באופן הבא:

בטבלת הקדקודים, להוסיף לכל קדקוד הפניות לצלעות אשר הוא מהווה קדקוד בתוכן.

בטבלת הצלעות להוסיף לכל צלע הפניות למצולעים אשר היא מהווה חלק מהם. תוספת זו מאפשרת לבדוק

האם יש צלעות משותפות בין מצולעים.

ייצוג זה לפי דעתי, מתאים לייצוג של כל נתוני גוף התלת-ממדי במודול אחד, ולא מחולק בין מחלקות

המייצגות כל אחת טיפוס נתונים נפרד. כאשר כל הנתונים נשמרים באותו מודול, מייצגים את הקדקודים

באופן מפורש, וכל השאר-הפניות. כאשר מייצגים כל נתון במחלקה אחרת: קדקודים, צלעות, מצולעים,

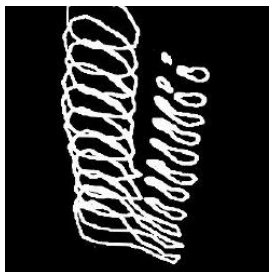
גופים, יש לייצג כל נתון בצורה שלמה, דהיינו: עבור צלע יש לשמור את שני הקדקודים, עבור מצולע- את כל הקדקודים המרכיבים אותו וכו'.

ביחידת הלימוד ייצגתי את הגוף התלת-ממדי- כמורכב ממערך של קדקודים, וממערך של מצולעים. לא הכנסתי את מערך הצלעות. מערך זה נדרש כאשר מעוניינים לצייר את צלעות הגוף, ובניית הטבלה חוסכת במספר הקווים שמציירים. מאחר וברוב המקרים מציירים את פאות הגוף צבועות במילוי מיותר לשמור נתונים אלו. הפעם היחידה בה נדרשתי ביחידה למערך צלעות היה בבדיקת חיתוך גופים במרחב.

Ferguson בספרו (Ferguson,2002), עוסק בגרפיקה ממוחשבת בשפת java. בגלל מנגנון הירושה הקיים בשפה, הוא מייצג את הגופים ואת הפעולות בעזרת מחלקות היורשות מ: Matrix, שהינה מטריצה בגודל 4x4. כך הקדקוד התלת-ממדי, ההטלות והטרנספורמציות. על פי זה גופים תלת ממדים, מורכבים אף הם מאוסף של מטריצות (כל קדקוד מיוצג בעזרת מטריצה). מצולעים לא מוגדרים בשלב זה, אלא רק בפרק העוסק בהעלמת משטחים נסתרים. ההטלות, משמשות כטרנספורמציה, ולכן מופיעות במחלקת הטרנספורמציות. היתרון בשיטה זו הוא אחידות ביצוע הפעולות – כפל של מטריצות, וכתיבה מועטה יותר של קוד תכנית. החיסרון: לא אינטואיטיבי להבנה. בוודאי לא בתיכון. ואף סרבול בייצוג.

Badler ו- Bajcsy במאמרם (Badler & Bajcsy,1978) עורכים סקירה של השיטות השונות לייצג גופים תלת-ממדיים. הם מציגים את היתרונות והחסרונות של כל ייצוג, וקובעים שבבואנו להחליט על דרך הייצוג עלינו לשקול את מחיר המקום שתופס הייצוג ואת יעילות ביצוע הפעולות על הגוף.

על-פי המאמר קיימות 2 טכניקות לשמירת נתוני גוף מורכב: שמירת משטחי הגוף, ושמירת נפחי הגוף.

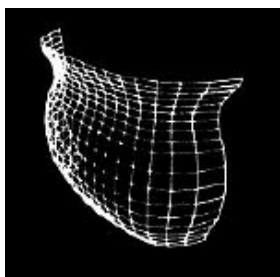


משטחי הגוף ניתנים לייצוג על-ידי:

- נקודות תלת-ממדיות – (מאפשר לבדוק צד חיצוני/פנימי של הגוף, למצוא פאות נגלות/נסתרות מנקודת המבט, ניתן לשחזר את צורת המצולע) כפי שנראה באיור 2.
- רשת אקראית של מצולעים – נמצא בשימוש נרחב בתוכנות גראפיות, בהם מציירים גוף כאוסף של פאות מישוריות.
- צירוף של מספר עקומות – בשימוש בתוכנות המאפשרות לתכנן גופים בעזרת מחשב – כפי שנראה באיור 3.
- צירוף של מספר משטחים ריבועיים – כאן לא נדרשים חישובים מאחר וכל הריבועים בגודל אחיד.

נפחי הגוף ניתנים לייצוג על-ידי:

- נפחים כלשהם המבוססים על הרחבה של צילום דיגיטאלי, לגוף תלת-ממדי. מתקבלים בשיטות דיגיטאליות שונות. מודגם באיור 4.
- פאוניים קמורים- מספר פאוניים בסיסיים שמהם ניתן להרכיב גוף תלת ממדי.
- אליפסות תלת ממדיות בגדלים שונים.
- גלילים – שימוש בגלילים בלבד, בגדלים שונים המרכיבים גוף אחד. מודגם באיור 5.

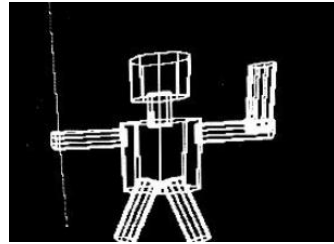


איור 3: משטח המיוצג בעזרת מספר רב של טלאים שכל אחד מהם מחושב כעקומה כלשהי

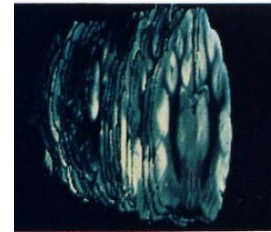
■ כדורים- המאפשרים לייצג גופים כדוריים ועל-ידי חפיפה ביניהם מאפשרים לייצג גוף אחד מורכב, כפי שנראה באיור 6.



איור 6: ייצוג גוף כאוסף של כדורים



איור 5: ייצוג גוף כאוסף של גלילים.



איור 4: הרחבת איור דו-ממדי לתלת ממדי.

כאמור, לכל אחד מהייצוגים ישנם יתרונות ועלויות.

קיימת עלות במקום:

למשל בייצוג **משטחי הגוף**: שימוש בנוסחה של עקומה תופס פחות מקום מאשר רשת של מצולעים המדמים עיקול.

בייצוג בעזרת **נפחים**, ייצוג המבוסס על צילום דיגיטאלי תופס הרבה מקום לעומת ייצוג בעזרת כדורים. קיימת עלות הנמדדת בזמן ביצוע פעולות על הגוף. (הכוונה לפעולות כגון: חישוב שטח פנים, חישוב נפח, ביצוע הטלות, טרנספורמציות, חיתוך, איחוד, הפרש, עיוות ועוד).

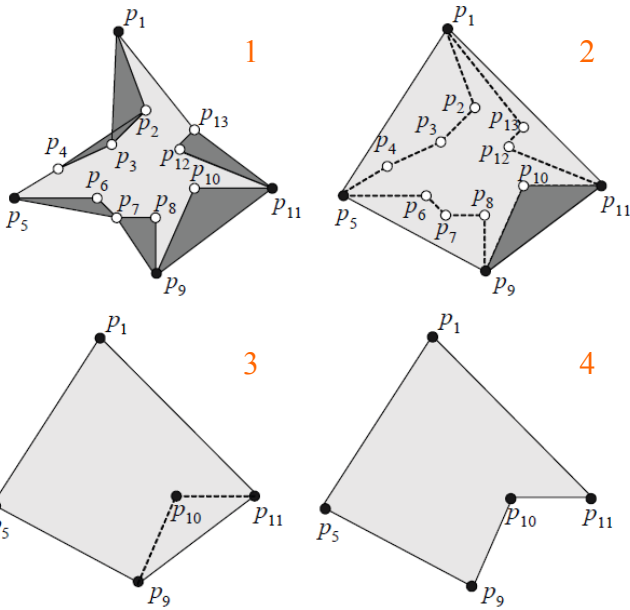
ייצוג נוח מבחינת מקום, יעילות פעולותיו לא תהינה בהכרח יעילות יותר. לעיתים יתקבלו תוצאות לא מדויקות בביצוע פעולות. לדוגמא, בביצוע טרנספורמציות על גוף שייצוגו מבוסס על הרחבה של צילום דיגיטאלי. ייתכנו פעולות שלא ניתן יהיה לבצען בייצוגים מסוימים. לדוגמא: לא ניתן לבצע פעולת עיוות על גוף המורכב מכדורים בלבד. מסקנה אליה מגיעים הכותבים היא שישנם ייצוגים המתאימים ליישומים ספציפיים, אך ברוב המקרים יש להתאים את הייצוג לצרכים המדויקים של התוכנה.

Kwon ו-Li (Kwon & Li, 2011) מתארים דרך לייצג מצולעים במרחב, **שאינם מיוצגים בעזרת קדקודים**, באופן שניתן יהיה לשלוח אותם ברשת במהירות רבה ככל האפשר. המוטיבציה בחיפוש דרך מהירה לייצג מצולעים ולשלוח אותם ברשת, היא למשל במקרים כגון דליפת דלק ממיכלית דלק לים. הדלק מתפשט על פני המים ובגלל החשש לאסון אקולוגי, יש לשלוח את הנתונים על גודל וצורת ההתפשטות, במהירות רבה. במקרים כגון אלו, **המצולע אינו מיוצג בעזרת קדקודים** – וזה מגדיל את המקום לאחסון נתוני המצולע, מעלה את זמן החישובים, ובעיקר מאריך את משך הזמן לשליחתו ברשת. אלגוריתם זה אינו רלוונטי ליחידת הלימוד כי אנו עוסקים בגופים המוגדרים בצורה מדויקת, ולכן אתאר בקצרה את הרעיון לפתרון: הצעתם היא לייצג את המצולע ב-N רמות שונות של פירוט.

הרמה ה-0 של מצולע A, המסומן ב: $LOD_0(A)$ – הינה קבוצה של שני קדקודים $\{p_0, p_1\}$ המהווים 2 קדקודים של המלבן החוסם את המצולע.

הרמה ה-N - $LOD_N(A)$ כוללת את כל הקדקודים.

כל רמה מכילה את הרמה שלפניה, ומכילה יותר קדקודים: $LOD_k(A) \subset LOD_{k+1}(A)$ לכל $k=1..N-1$. אם ברמה נמוכה המצולע אינו חופף למצולעים אחרים, שולחים את נתוניו (גם אם אינם מדויקים) ברשת. אם לא, מקטינים את שטחו על-ידי הוספת הקדקודים ברמה הבאה. (כך שלא יחפוף למצולעים נוספים) הדרך להוסיף קדקודים מרמה k לרמה ה-k+1 מודגמת באיור 7.



איור 7 : מעבר מרמת פירוט k לרמת פירוט k+1

ברמה k נמצאים הקדקודים P_1, P_5, P_9, P_{11} .

יש להוסיף קדקוד נוסף. נתבונן בשאר הקדקודים.

יש לבדוק איזה מהם יוצר משולש המפחית את

השטח הגדול ביותר מ $LOD_k(A)$ (1). נמצא ש: P_{10}

יוצר עם P_9, P_{11} את המשולש הגדול ביותר כפי

שנראה ב-2,3.

ב-4 מתקבל המצולע $LOD_{k+1}(A)$.

עתה יש לבדוק האם המצולע שהתקבל לאחר הורדת

המשולש הגדול ביותר אינו חופף למצולעים נוספים,

אם כן יש להמשיך ולהקטין.

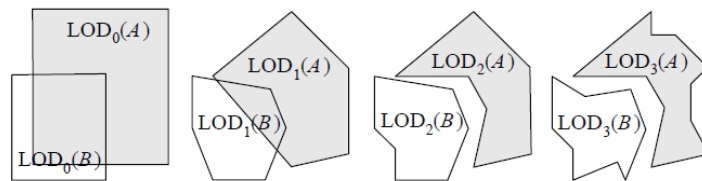
שליחת הנתונים כוללת בסופו של דבר מעט נתונים:

רמת הפירוט, מספר קדקודים, והקדקודים עצמם.

נוכל לראות את השלבים השונים באיור 8 עבור 2 שטחים

מצולעים, שמקטינים אותם (מגדילים את רמת הפירוט) עד שמגיעים למצולעים שאינם חופפים.

במקרה זה נעצור ברמת פירוט 2, שבה אין חפיפה בין המצולעים.



איור 8 : הדגמת הגדלת רמת הפירוט של המצולע

2.2 הטלות

בפרק העוסק בהטלת מראה של גוף תלת-ממדי על המסך הצגתי שני סוגי הטלות: הטלה מקבילית והטלה

פרספקטיבית. בהטלה **מקבילית** מטילים את כל נקודות הגוף על מישור ההטלה לאורך קווים מקבילים.

ובהטלה **פרספקטיבית** לאורך קווים המתכנסים לנקודה אחת הנמצאת מאחורי המישור ההטלה.

Baker ו-Hearn בספרם (Hearn & Baker, 1996) מקדימים ללימוד ההטלה המקבילית, מקרה מסוים שלה

הנקרא הטלה אורתוגרפית שבה מטילים את נקודות הגוף לאורך קווים מקבילים **המאונכים** למישור

ההטלה.

כל נקודה (x_0, y_0, z_0) במרחב, מוטלת לנקודה (x_0, y_0) במישור.

הטלה זו למעשה מתעלמת מעומקו של הגוף, ומציגה את הגוף כגוף דו-ממדי. למשל: קובייה שעומדת לפנינו תיראה כריבוע. מכיוון שלא משתמשים בהטלה אורתוגראפית בפרויקטים, בחרתי שלא להציג הטלה זו ביחידה.

Ferguson בספרו (Ferguson, 2002), מציג גם הוא את ההטלות: אורתוגראפית, מקבילית ופרספקטיבית. הוא מוסיף את המטריצות (בגודל 4x4) המייצגות את 3 ההטלות:

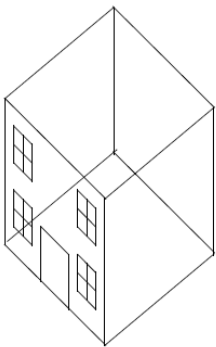
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : \text{ההטלה האורתוגראפית}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ L \cos \alpha & L \sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : \text{ההטלה המקבילית}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d} \end{bmatrix} : \text{ההטלה הפרספקטיבית}$$

כל אחת ממטריצות אלו יש להכפיל בנקודה ההומוגנית $[x \ y \ z \ 1]$ ומתקבלת נקודת ההטלה $[x_p \ y_p \ 0 \ 1]$ כאשר מתעלמים מ: $z=0$, מקבלים את נקודת ההטלה על המסך.

הוא מציג גם את ההטלה האיזומטרית: המציגה תמונה שבה 3 הצירים זהים באורכם, ולכן בציור הגוף שומר על פרופורציה של האורך, הרוחב והעומק. לדוגמה באיור 9 מוצגת קובייה, שכל צלעותיה באורך שווה.



איור 9: הבית בהטלה איזומטרית

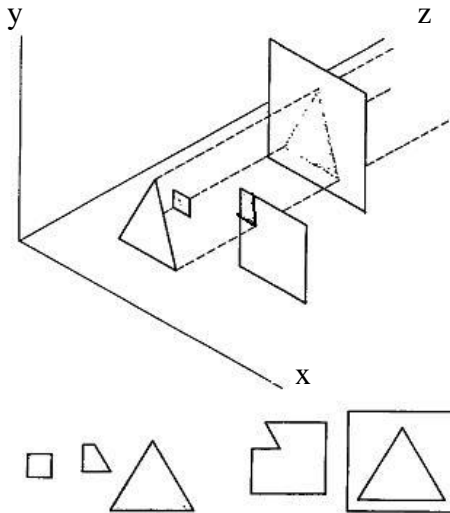
$$\begin{bmatrix} \sin 60 & -\cos 60 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 60 & -\cos 60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : \text{מטריצת הטלה איזומטרית הינה}$$

ביחידת הלימוד בחרתי לממש את 2 ההטלות כפעולות במחלקת קדקוד-תלת-ממדי (Vertex3D) המחזירות נקודה, ולא כמטריצות, מאחר וזה יותר אינטואיטיבי ללומד: עבור כל קדקוד במרחב מוחזרת נקודה דו-ממדית על המסך.

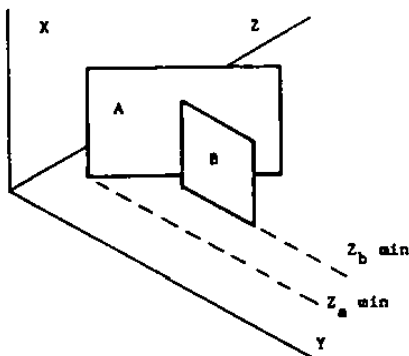
לעומת זאת בפרק העוסק בביצוע טרנספורמציות על גוף תלת-ממדי, הצגתי את השינוי הנעשה על כל קדקוד בצורה מפורשת, ובנוסף לימדתי את ייצוג הטרנספורמציה בעזרת מטריצה, וזאת כדי ליצור אחידות בביצוע טרנספורמציות המאפשרת להכפיל מטריצות וכך לבצע טרנספורמציה מורכבת על גוף תלת-ממדי.

2.3 הסתרת משטחים נסתרים

Weiler ו- Atherton במאמרם (Weiler & Atherton, 1977) מציגים אלגוריתם רקורסיבי להסתרת משטחים



איור 10: המשולש הוא המצולע הקרוב לנקודת המבט. שאר המצולעים מתחלקים ל-2 רשימות: מצד שמאל המצולעים/חלקי המצולעים הנמצאים מאחוריו, ובצד ימין המצולעים/חלקי המצולעים שאינם מוסתרים על ידי המשולש



איור 11: איור המדגים מצב שבו מצולע A ממוקם על-פי מיון עומק z ראשון, אולם מצולע B נמצא לפניו ומסתיר אותו

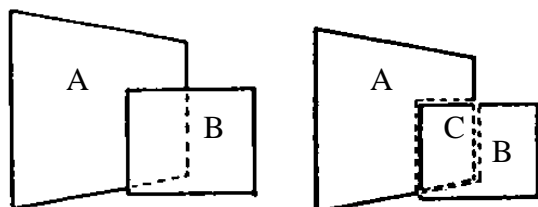
וקיים שאינם נראים מנקודת מבט המתבונן. ניתן להשתמש באלגוריתם זה לציור גוף יחיד או מספר גופים, כאשר מתייחסים לכל גוף כאל אוסף מצולעיו. הרעיון הוא לחתוך כל מצולע למספר מצולעים כך שלא יהיו מצולעים חופפים זה לזה, למינים ולהעלים את החלקים המוסתרים. ניתן להשתמש באלגוריתם זה גם בגופים קעורים, וכן להיעזר בו כאלגוריתם לציור הטלת הצל של הגופים, כאשר מקור האור משמש כנקודת המבט.

שלבי האלגוריתם

1. מיון מקדים, על פי עומק z מקסימאלי של המצולע. שלב זה אינו הכרחי אך הוא מקל ומייעל את ההמשך.
2. בדיקת המצולעים/חלקי המצולעים **החופפים** למצולע הראשון. והפרדתם לשתי רשימות:
 - א. **החופפים** למצולע הראשון
 - ב. שאינם **חופפים** על-ידי המצולע הראשון, כפי שנראה באיור 10.
3. בדיקה האם המצולעים ברשימה א' **מוסתרים** על-ידי המצולע הראשון, אם כן הם מוצאים. אם לא כנראה שיש מצב שגוי כפי שנראה באיור 11.
4. מיון עומק סופי בתהליך רקורסיבי של חלוקה לתתי מצולעים. האלגוריתם מחלק את המצולעים ל-3 חלקים:
 - החיתוך של A ו-B, חלק A ללא החיתוך, וחלק B ללא החיתוך עם A. כפי שנראה באיור 12.

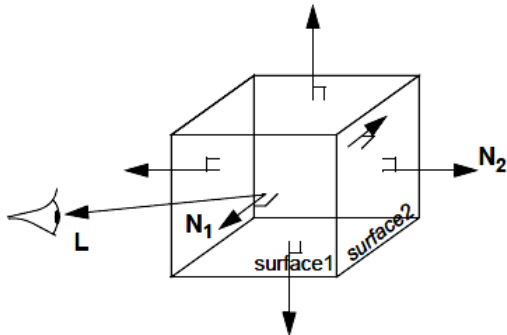
כך עוברים על רשימת המצולעים וממיינים אותה, על ידי הורדת מצולעים/חלקי מצולעים המוסתרים על-ידי אחרים.

בדוגמה באיור 12, ישנה חפיפה בין 2 מצולעים A, B. לכן מחלקים את שניהם לשלושה מצולעים: A – ללא החלק החופף, B – ללא החלק החופף, C – החלק החופף בין A, B.



איור 12: באיור השמאלי מצולע B נמצא לפני מצולע A, ובאיור הימני חלוקה ל-3 מצולעים

Ferguson בספרו (Ferguson, 2002), מציג שתי דרכים לבדיקה האם מצולע בגוף התלת-ממדי קמור הוא נסתר או נגלה, מנקודת מבט נתונה. בפרק זה הוא מוסיף את ייצוג המצולע התלת-ממדי – כמעריך של מטריצות (מאחר וכל קדקוד מיוצג על-ידי מטריצה).



איור 13: בדיקת הזווית בין הנורמל לפאה, לבין L - הוקטור המגיע לנקודת המבט, כדי לקבוע האם הפאה נגלית או נסתרת

הדרך ראשונה, משתמשת בוקטורים ובמכפלה וקטורית בחישוביה: כדי להבין את הדרך נתבונן באיור 13.

נתון גוף תלת-ממדי, כיצד ניתן לבדוק האם פאה היא נגלת או נסתרת?

א. נחשב את הנורמל לפאה – נסמנו ב: N (באיור נקרא N1).

ב. מנקודת חיתוך הנורמל עם הפאה, נעביר וקטור לנקודת המבט. (וקטור L)

ג. נחשב את הזווית שבין N,L נסמנה ב: θ .

(הנורמל למישור מחושב כמכפלה וקטורית של 2 וקטורים על המישור)

היוצאים מנקודה אחת. וקטורים אלו נקבעים על-פי 3 נקודות שעל המישור).

אם הזווית בין L,N קטנה מ- 90° : הפאה נגלית מנקודת המבט.

נוכל לראות באיור שהזווית בין L,N1 קטנה מ- 90° ולכן surface1 נגלית, ואילו הזווית בין L,N2 גדולה מ- 90° ולכן surface2 נסתרת.

כאשר הפאה נגלית: מתקיים $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ולכן $0 \leq \cos \theta \leq 1$

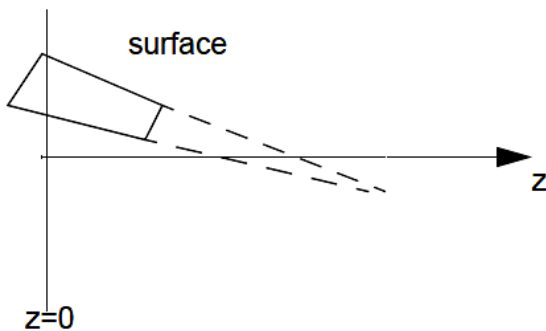
$$\frac{(L \cdot N)}{|L| \cdot |N|} = \cos \theta$$

את חישוב \cos הזווית מקבלים מחישוב מכפלה סקלארית

מכיוון ש: $|L| \cdot |N| > 0$ לכל שני וקטורים, יש לבדוק האם

$(L \cdot N) > 0$. אם התנאי מתקיים, המשטח נראה, ואם לא, הוא נסתר

ואין לציירו.



איור 14: בדיקת משטחים נסתרים, על-ידי חישוב נקודת החיתוך של המישור עם ציר ה-z

הדרך השנייה, בודקת מהי נקודת החיתוך של המישור עם ציר ה-z.

אם נקודת החיתוך היא בצד השלילי של ציר ה-z, הפאה נראית מנקודת

המבט, ואם בצד החיובי של ציר z, הפאה נסתרת. (איור 14)

דרך זו מסתמכת על חישוב משוואת המישור,

הצבת $x=0, y=0$, ומציאת ערכו של z.

אם הוא שלילי-הפאה נגלית, ואם חיובי –נסתרת.

הפרק העוסק בהעלמת משטחים נסתרים בגוף תלת-ממדי מתייחס לגופים קמורים.

ביחידת הלימוד בחרתי להציג שתי דרכים לבדיקה האם משטח נגלה או נסתר – שהרעיון מאחוריהן דומה

לשתי הדרכים שהציג Ferguson, אך יש בהן פחות חישובים מתמטיים.

בראשונה חישבנו את משוואת המישור על-פי שיטת קרמר, ובדקנו האם נקודת המבט נמצאת בצד הקדמי או האחורי של המישור, בעוד ש-Ferguson מוצא את הנורמל בחישוב מתמטי של המכפלה הוקטורית ובדיקת כיוונו. (קואורדינטות הנורמל למישור, הינן מקדמי משוואת המישור) בשנייה בחנו את המקדם של Z במשוואת המישור (שהוא הקואורדינטה השלישית של הנורמל למישור) כדי לבדוק את כיוונו. בעוד ש-Ferguson בודק את נקודת חיתוך המישור עם ציר ה-z. גם כאן אותו רעיון – ההסבר שונה.

Baker ו-Hearn בספרם (Hearn & Baker, 1996) מציגים את אלגוריתם מיון עומק, או כפי שהוא נקרא 'אלגוריתם הצייר' להעלמת משטחים נסתרים. למעשה אלגוריתם זה אינו מסתיר משטחים נסתרים אלא ממיין את המשטחים בסדר כזה, שהרחוקים מצוירים קודם, ואחריהם הקרובים, ובאופן זה משטח שלא צריך להיראות כי הוא מוסתר, מצויר, אך מוסתר על-ידי אחרים. אלגוריתם זה אינו יעיל מאחר ונדרש בו מיון של המצולעים, ומשתמשים בו בעיקר כשיישנם גופים קעורים ולכן הוא לא מוצג בפרק זה.

הוא מוצג בפרק 8 כפי שנדרש בסילבוס המופיע באתר הפיקוח על לימודי מדעי המחשב, שבו ישנה התייחסות לתרחיש שבו מספר גופים תלת-ממדיים נמצאים במסך ויש לציירם באופן הנכון. בפרק זה מערך מצולעי כל הגופים התלת-ממדיים מוינו, וצוירו על פי סדר מהצלע הרחוקה יותר לצלע הקדמית ביותר.

2.4 הצבע

בפרק זה בחרתי להציג 4 מודלים להצגת הצבע, 2 מודלים המופיעים בתכנית הלימודים CMY, RGB ו-2 מודלים נוספים שאינם מופיעים בתכנית הלימודים HSB, HSV. זהו המודל הטבעי המדמה את קליטת הצבעים בעינינו, CMY הינו המודל המובן לנו כמי שגדלו ולמדו על ערבובי הצבעים – צהוב, תכול, וארגמן. זהו המודל המשמש להדפסה. התייחסתי לשני מודלים שונים הנפוצים בתוכנות גרפיות מכיוון שהם יותר אינטואיטיביים ומיידים להבנה מכיוון שהם מבוססים על מאפיינים שניתן להפריד גם בעין. (גוון, עצמת הצבע, ערבוב עם לבן/שחור).

במאמרם מציגים Joblove ו-Greenberg (Joblove & Greenberg, 1978) את מודל RGB התואם את החיישנים הנמצאים בעינינו – הקולטים אורכי גל שונים.

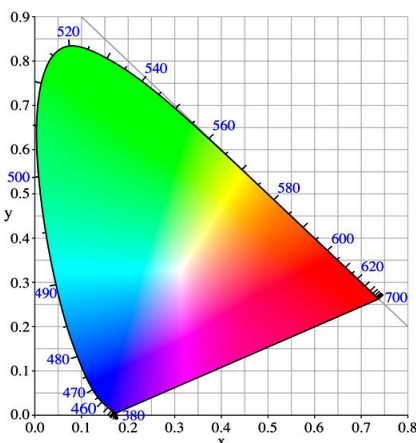
הם מוסיפים הסבר על התקן הבינלאומי לצבעי יסוד שנקבע על-ידי הוועדה הבינלאומית – CIA- Commission International l'Eclairage – שמטרתו להגדיר את כל הגוונים כסכום משוכלל של שלושת צבעי היסוד.

ב"פינות" העקומה נמצאים צבעי היסוד אדום, ירוק וכחול, סביב העקומה מצוינים אורכי הגל מהקצה האדום, עד הקצה הסגול.

בנוסף הם מציינים שכדי שהמשתמש יוכל ליצור את הגוון שבו הוא מעוניין המודל RGB ותרשים הצבעוניות שקבעה ועדת CIA, אינם מספיקים.

למשל לאומנים המשתמשים בצבע מתאים יותר מודל CMY.

אך לרוב המשתמשים יש לתת אפשרות לערבב גוונים בדרך שהם יכולים להבין.

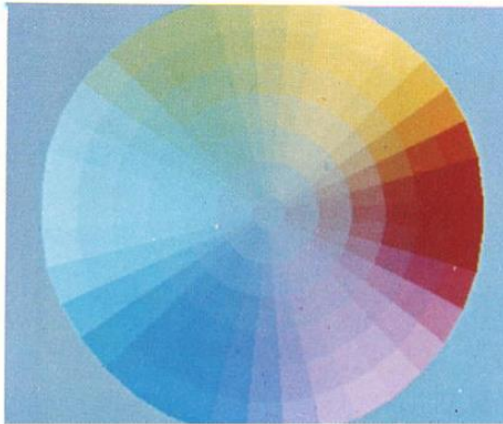


איור 15: תרשים הצבעוניות של CIA

שמסומנים בו הצבעים בספקטרום הנראים לעין

לצורך זה יש לבנות מודלים שיהיו אינטואיטיביים למשתמש, אך בנוסף שיהיה ניתן להמירם למודל RGB כדי להציגם במחשב.

הם מציעים מספר מודלים בעלי 3 פרמטרים, שהמשותף לכולם הוא הגוון hue- בכל מודל מתווספים פרמטרים אחרים.



איור 16: הזווית קובעת את הגוון

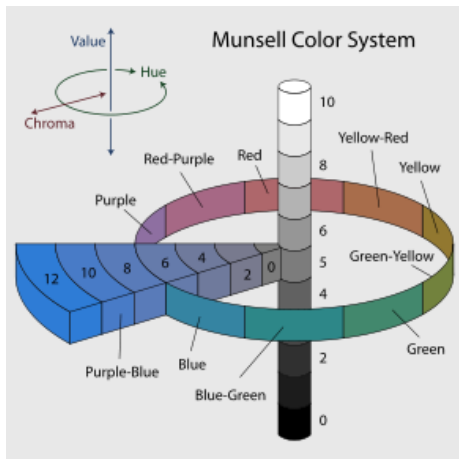
במודל הראשון 6 הגוונים מוצגים על מעגל יחידה: גווני היסוד – אדום, ירוק וכחול וביניהם הצבעים המשלימים: צהוב, cyan (תכול), ו- magenta (ארגמן). הצבע האדום נמצא בזווית 0. כאשר הזווית משתנה הגוון משתנה ומתקבלים הגוונים כפי שנראה באיור 16: 0° – הצבע האדום, 120° – הצבע הירוק, 240° – הצבע הכחול, וביניהם הצהוב, התכול והארגמן.

מודל נוסף הוא מודל הצבע של Muncell. המודל נראה כגליל ומבוסס על שלושה פרמטרים:

הגוון hue – במודל נקבע על-פי זווית הסיבוב,

הערך value – ערכו נע בין 0 – 10 (בין תוספת שחור לתוספת לבן)

ה chroma – עצמת הגוון. ככל שמתקרב לאמצע עצמת הגוון קטנה.



איור 17: מודל הצבע של Muncell

מודל נוסף שמוצג במאמר הוא מודל HSB עליו הרחבתי ביחידת הלימוד, אלא שהוא מופיע במאמר כמודל המבוסס על שלשת הערכים:

H – hue – גוון

I – intensity – חוזק הגוון (תוספת לבן/שחור)

C – chroma – עצמת הגוון.

Truckenbrod במאמרו (Truckenbrod, 1981) מתייחס בעיקר לתכונותיהם של הצבעים השונים, אך גם הוא מציע מודל להבנת הרכב הצבעים. הוא מתאר את השימוש הנרחב שנעשה בצבע – החל מכימיה ועד לאומנות, ומציין שחשוב להכיר ולהבין את התכונות של הגוונים, ואת הקשרים השונים ביניהם כדי להשתמש נכון בצבעים בגרפיקה ממוחשבת.

הוא מביא במאמרו את תאוריית הצבע של Muncell ו-Ostwald שפיתחו כל אחד בנפרד מודל שמצד אחד כולל את כל הגוונים האפשריים ומן הצד שני לא מכילים מידע מיותר. הם מגדירים צבע על-פי 3 תכונות גוון-hue, ערך-value ו-עצמת הצבע-chroma, אם כי כל אחד מגדיר אותן אחרת:

hue - גוון

Muncell מגדיר את הגוון כמאפיין המיוחד המבדיל גוון אחד לאחר.

ואילו Ostwald מגדיר גוון כתחושת צבע מיוחדת כמו אודם, כחולן וכד' (כפי שהיא נקלטת בחוש).

Value-ערך

Muncell מגדיר כבהירות, או זוהר של צבע, (היכול להיות בהיר, כהה, או אמצעי בערכו).

Ostwald מגדיר את הערך כאחוזים של הצבע הלבן והשחור בגוון הנוכחי.



באיור 18 ניתן לראות כיצד שינוי של ה-value משפיע על הצבע התכול.

איור 18 : השינוי שעובר הצבע התכול בשינוי ה-value .
(מתוספת של הצבע הלבן עד לתוספת של הצבע השחור)

chroma- רווית הצבע

Muncell מגדיר את הרוויה כחוזק או חולשה של צבע.

Ostwald מאפיין כל צבע על-פי אחוז הלבן שהוא כולל, אחוז השחור, ואחוז הגוון המלא. ככל שאחוז הגוון גבוה יותר, רווית הצבע גבוהה יותר. צבע טהור הוא צבע שאינו מכיל לבן ושחור.

באיור 19 ניתן לראות כיצד שינוי של ה-chroma (עוצמה) משפיע על הצבע הכתום.



איור 19 : השינוי שעובר הצבע הכתום בשינוי ה-chroma. בצד ימין הכתום הוא בעל רוויה גבוהה, לעומת צד שמאל שבו הרוויה נמוכה

Tektronix אימץ מערכת צבעים זו ויצר מודל היכול להציג כ-4027 גוונים, המיוצג בעזרת שני חרוטים הצמודים זה לזה בדומה למודל HLS שהצגתי ביחידת הלימוד. זווית הסיבוב קובעת את הגון (hue), הקרבה לציר המרכזי קובעת את הרוויה (chroma), והגובה קובע את ערך ה-value (נע בין 0-שחור ל-1- לבן).

המשך המאמר עוסק בתכונות הצבע ובמשמעותו, היחס בין צבעים שונים, צבעים משלימים, צבעים הרמוניים, ניגודיות בין צבעים, המשמעות שמייחסים לכל צבע ועוד נושאים הקשורים לעיצוב ולא לייצוג הצבע במחשב.

2.5 תאורה

הפרק השביעי בחומר הלימוד הוא הפרק העוסק בתאורה ובהצללה. רוב המורים אינם מגיעים ללמד את הנושא מכמה סיבות :

א. הפרק הוא האחרון בתכנית הלימודים ולא תמיד מספיקים ללמדו. (עבודת הגמר צריכה לכלול 60% מהחומר והוא לא נושא חובה).

ב. בקביעת עצמת תאורת הגוף נעשה שימוש בנושאים מתמטיים רבים (חישוב מישור, נורמל למישור, נקודת חיתוך וקטור עם מישור, מכפלה סקלארית ועוד).

ג. חלק מהמודלים אינם ברמה הנדרשת מהתלמידים.

מסיבות אלו בחרתי להציג רק מודל אחד של תאורה המבוסס על **חוק הקוסינוס של למברט**, שהוא קל להבנה וכן להשתמש בפרויקטים במקור אור אחד בלבד, כדי לא לגרום למורכבות יתר של החישוב.

בנושא ההצללה התייחסתי ביחידת הלימוד רק למקור אור נקודתי המטיל צל של גוף על-גבי מישור, ולא למקרים מורכבים יותר שבהם מוטל צל על כמה מישורים (כגון על גוף אחר הנמצא בסמוך), או שמקור האור אינו נקודתי.

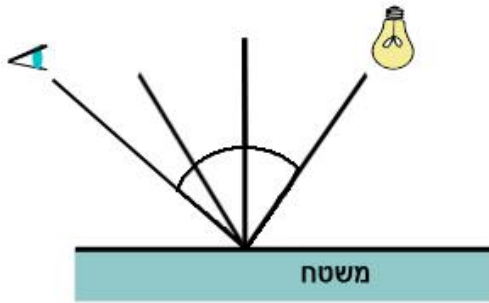
Baker ו-Hearn בספרם (Hearn & Baker, 1996) מציגים מודלים של תאורה נוספים:

- החזרת ראי.
- החזרת אור מגופים שקופים.

החזרת ראי

במשטח מבריק מאד (כגון ראי) ישנם אזורים שמהם חוזרות כל קרני האור, ולכן צבעו של האור החוזר הוא כצבעו של האור הפוגע. כאשר הגוף מואר באור לבן, החזרת הראי נראית ככתם אור לבן.

בהחזרת ראי מושלמת זווית הפגיעה שווה לזווית ההחזרה. נתבונן באיור 20: החזרת ראי מושלמת מושגת כאשר וקטור V מתלכד עם וקטור R . (דהיינו $\phi = 0$).



איור 20: בהחזרת ראי, זווית הפגיעה שווה לזווית ההחזרה

אחת השיטות לחישוב עצמת החזרת האור בהחזרת ראי פותחה על-ידי פונג בוי טואונג ונקראת מודל פונג.

היא קובעת שעצמת החזרת ראי נמצאת ביחס ישר ל- $\cos^n \phi$

ככל שמשטח מבריק יותר קובעים n גבוה יותר. עבור משטחים עמומים נקבע $n=1$. במחזיר אור מושלם ערך n שואף לאינסוף.

נוסחת עצמת ההארה נקבעת כסכום העוצמות של: עצמת אור סביבתי, עצמת מקור אור, ועצמת החזרת ראי על-פי הנוסחה:

$$I = k_d I_a + \frac{I_p}{d + d_0} [k_d (N \cdot L) + W(\theta) \cos^n \theta]$$

כאשר:

$k_d I_a$ - עצמת אור סביבתי. (אור המוחזר מגופים נוספים הנמצאים באזור, כגון קיר לבן)

$\frac{I_p}{d + d_0} k_d (N \cdot L)$ - עצמת מקור אור נקודתי.

$W(\theta)$ - זווית הפגיעה. החזרת הראי תלויה בזווית הפגיעה ובחומר ממנו עשוי המשטח. בדרך כלל ככל

שזווית הפגיעה גדולה יותר עצמת ההחזרה גדולה יותר. פונקציה זו תלויה בחומר שממנו עשוי המשטח. למשל

בזכוכית: עצמת החזרת ראי קטנה עבור זווית פגיעה קטנות, אך גדלה כאשר זווית הפגיעה מתקרבת ל- 90°

ולכן ערך $W(\theta)$ נע בין 0 ל-1. בחומרים אחרים עצמת החזרת הראי שלהם קבועה עבור כל זוויות הפגיעה

ולכן ערך $W(\theta)$ הוא מספר קבוע בתחום שבין 0 ל-1.

$\frac{I_p}{d + d_0} W(\theta) \cos^n \theta$ - עצמת החזרת ראי.

החזרת אור מגופים שקופים

גופים שקופים, עצמת ההארה משתנה מכיוון שהגוף מקבל תוספת ממקורות אור או ממשטחים מחזירי אור הנמצאים מאחוריו. האור החוזר עובר דרך הגוף השקוף ומשנה את עצמת האור שלו.

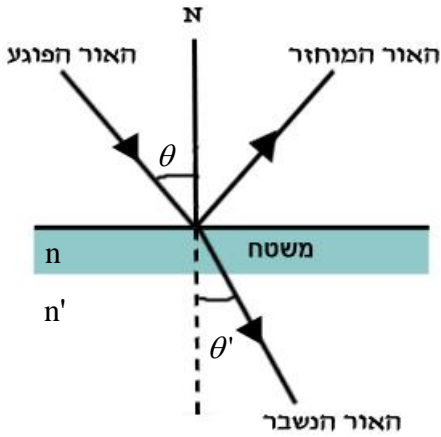
אור זה נקרא: transmitted light - אור מועבר, או refracted light - אור נשבר. והוא מתואר באיור 21.

ישנם שני סוגים של שבירת קרני אור: שבירה מפוזרת ושבירת ראי. על פי רוב השבירה המפוזרת דורשת זמן עיבוד רב (כי יש לחשב את עצמת ההחזרה בכל נקודה על הגוף) ולכן רוב המודלים מחשבים רק שבירת ראי. בחישוב זווית השבירה θ' יש להתייחס למספר פרמטרים:

▪ זווית הפגיעה של האור בגוף: θ ,

▪ מקדם השבירה של החומר: n ,

▪ מקדם השבירה של האוויר הנמצא לפני הגוף.



איור 21: קרן אור הפוגעת במשטח שקוף, חוזרת בחלקה ונשברת בחלקה

מקדם השבירה של אוויר הוא כמעט 1.

מקדם השבירה של זכוכית הוא 1.5

על פי נתונים אלו, אם יודעים מהי זווית הפגיעה של קרן האור בגוף (θ), נוכל לקבל על-פי חוק השבירה: $n \cdot \sin \theta = n' \cdot \sin \theta'$ את זווית השבירה.

נניח שזווית הפגיעה היא: $\theta = 30^\circ$

$$\theta' = 19^\circ \Leftrightarrow 1 \cdot \sin 30^\circ = 1.5 \cdot \sin \theta'$$

חישוב זווית הפגיעה משתנה מנקודה לנקודה, והחישוב אורך זמן רב, ולכן משתמשים בשיטה מהירה יותר, אם כי פחות תואמת למציאות, לחישוב כמות האור המוחזר מן הגוף השקוף.

העוצמה הכוללת המוחזרת מהגוף השקוף שמואר מאחוריו מחושבת באופן הבא: $I = r \cdot I_t + (1 - r) \cdot I_b$

כאשר:

r - מידת אטימות החומר: עבור זכוכית שקופה מאד r מקבל ערך הקרוב ל-0, עבור חומר אטום $r=1$. עלול להשתנות בהתאם לאטימות המשתנה של המשטח.

I_t - עצמת הגוף השקוף (כפי שחושבה בסעיפים הקודמים): עצמת האור המוחזר ממקור אור נקודתי, וממקור מחזיר אור)

I_b - עצמת האור של הגוף האחורי (הנמצא מאחורי הגוף המואר, וגם הוא מחזיר אור העובר דרך הגוף).

ניתן לבדוק מיהם הגופים הנמצאים מאחורי הגוף השקוף על-ידי שימוש באלגוריתם חוצץ עומק הממייין את המשטחים על-פי עומק z שלהם, ולדעת מהו המשטח הנמצא מאחורי הגוף. לאחר מכן יש לצרף את עוצמתן של הנקודות המתאימות לאורך כיוון המבט, כדי לקבל את תבנית ההצללה הכוללת של הגוף השקוף.

Ferguson בספרו (Ferguson, 2002), מחשב את עצמת התאורה של הגוף בדומה למה שתיארתי ביחידת הלימוד, אך משנה שני דברים:

א. את המקורות מחזירי האור הוא מדמה ליום מעונן שבו לא רואים את קרני השמש, לא מוטל צל על-פני הקרקע, ולכן האור המוחזר מכל הגופים הוא בעוצמה שווה.

ב. הוא מתייחס בפירוט למרחק של הגוף ממקור האור, ומכפיל את התוצאה המתקבלת עבור האור המוחזר

מפאה המוארת על ידי מקור אור נקודתי ב: $\frac{1}{d^2}$, כאשר d הוא המרחק בין הגוף למקור האור.

ניסיתי להוסיף את החישוב בתוכניות שכתבתי, ומצאתי שהתוספת הזו מכהה מאד את התמונה, ולכן לא הוספתי אותה ביחידת הלימוד.

2.6 הצללה

(Drettakis & Fiume, 1995) במאמרם Fiume ו-Drettakis מציגים אלגוריתם הקובע את היטלי הצל של גופים תלת ממדיים. האלגוריתם משתמש במבנה נתונים הנקרא היטל אחורי (Back Projection) שהחידוש בו הוא ההתייחסות ל:

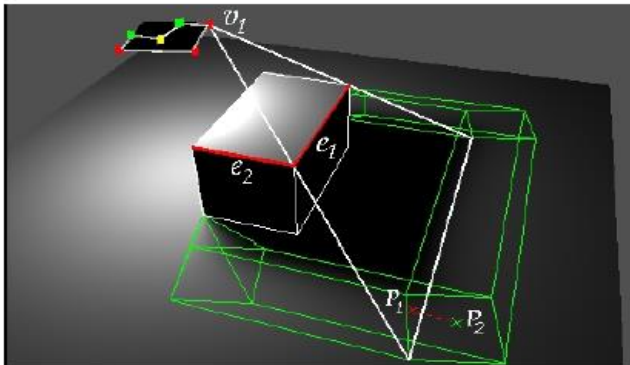
א. מקור האור שאינו נקודתי אלא מפולג. (ניתן לראות באיור 22 את המצולע העליון המהווה את גוף התאורה)
 ב. גופים שאינם קמורים. (ניתן לראות באיור 23)
 הצל של גוף המואר באור מפולג מתקבל באופן הבא:
 בהינתן מקור אור מפולג, הפאה המאירה הינה מצולע. (באיור 22 קדקודיו מסומנים באדום)

מכל אחד מקדקודיו מעבירים ישרים דרך קדקודי הפאות (הנסתרות ממנו) הפוגעים במישור הטלת הצל.

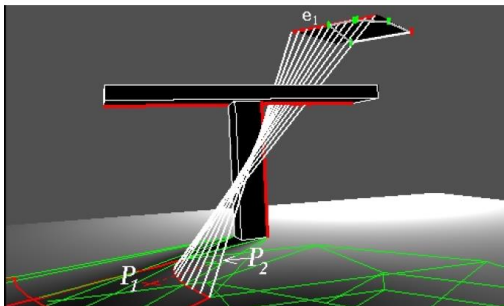
עבור כל קדקוד של מקור האור, וכל פאה נסתרת בגוף התלת-ממדי נוצר מצולע על-גבי מישור ההטלה. (המצולעים מסומנים באיור 22 בירוק).

לאחר קבלת המצולעים על משטח הטלת הצל, (מכל קדקודי מצולע התאורה), החיתוך שלהם זהו הצל המתקבל במצב שבו מקור האור אינו נקודתי. – מסומן באיור בצבע כהה.

גוון הצל כהה יותר בחיתוך ההטלות. בשאר האזורים ישנה הצללה אך היא בהירה יותר בהתאם למספר המצולעים החופפים בהם.



איור 22: הדגמת הטלת צל של קובייה, כאשר מקור האור מפולג ואינו נקודתי. במקרה זה הצל המתקבל הוא חיתוך של כל המצולעים המתקבלים על מישור ההטלה



איור 23: הטלת צל ממקור אור מפולג, על גוף תלת-ממדי קעור

בהצעה לעבודה המסכמת שהגשתי, התכוונתי להשוות בין תכני הלימוד הנלמדים בארץ כפי שנקבעו על-ידי משרד החינוך ביחידת הלימוד "גרפיקה ממוחשבת" לבין אלו הנלמדים במקומות שונים בעולם. מסקירת תכניות לימודי מדעי המחשב בעולם שערכה רגוניס במאמרה (רגוניס, 2007) ומההשוואה שהיא עורכת ביניהן עולה שרוב תכניות הלימוד כוללות את הנושאים הבסיסיים במדעי המחשב, חלקן דומות ליחידות מדעי המחשב א' ומדעי המחשב ב', וחלקן מתייחסות לנושאים הנלמדים ביחידת "תכנות מונחה עצמים" וכוללות שימוש בעצמים ובמחלקות, ושימוש במנגנון הירושה. "גרפיקה ממוחשבת" הוא נושא שאינו נלמד בבתי ספר תיכוניים במקומות אחרים בעולם, ולכן, בדקתי כיצד הנושא נלמד באוניברסיטאות בארץ. בכל אוניברסיטה בארץ נלמד הקורס "גרפיקה ממוחשבת" בחוג למדעי המחשב. באתרי הקורס מוצגים סילבוס הקורס ומצגות ההרצאות בקורס ועל כך הסתמכתי בהשוואה. תחילה בדקתי כיצד נלמדים הנושאים שביחידת הלימוד בקורסים באוניברסיטאות ולאחר מכן בחנתי אילו נושאים נלמדים בתיכון ולא באוניברסיטאות, ולהפך. את הנושאים הנלמדים בתיכון אציג בטבלה, כאשר כל עמודה מתייחסת למוסד אוניברסיטאי אחר.

הטכניון	אוניברסיטת בן-גוריון	אוניברסיטת תל-אביב	נושאים בגרפיקה ממוחשבת
<ul style="list-style-type: none"> • ייצוג בעזרת קדקודים + קשתות - Wire-Frame. • ייצוג גוף כאוסף של משטחים – גם ישרים וגם עקומים. (עקומות פולינומיאליות, ועקומות Bézier, מעבר מעקומה למשטח עקום). • ייצוג גוף כאוסף של נפחים- קוביות, גלילים, תיבות וכד' • שילוב של גופים המיוצגים על-ידי נפחים בעזרת: חיתוך, איחוד, הפחתה והשלמה של צורות. 	<ul style="list-style-type: none"> • ייצוג גופים על-ידי אוסף של מצולעים. • ייצוג בעזרת רשת של משולשים. • ייצוג בעזרת מספר צורות. עקומות פרמטריות • Solid Modeling - CGS – שיטה המאפשרת לבצע חיתוך, איחוד, הפחתה של גופים מסוגים שונים. • ייצוג משטחים עקומים בעזרת עקומות - Hurmit, ועקומות Bézier, ייצוג פרמטרי. 	<ul style="list-style-type: none"> • ייצוג גופים על-ידי אוסף של נקודות. • ייצוג על-ידי משטחים חופפים. • ייצוג בעזרת רשת של מצולעים. • הצגת יתרונות כל אחד והצגת השקילות של כולם. 	ייצוג גופים תלת ממדיים
<ul style="list-style-type: none"> הטלות נוספות על הטלות מקבילית ופרספקטיבית: הטלה איזומטרית. מודל חור המצלמה. ההטלות מיוצגות בעזרת מטריצה כמו טרנספורמציה. 	<ul style="list-style-type: none"> הטלה נוספת על הטלות מקבילית ופרספקטיבית: הטלה אורתוגראפית. ההטלות מיוצגות בעזרת מטריצה כמו טרנספורמציה. 	<ul style="list-style-type: none"> הטלות נוספות על הטלות מקבילית ופרספקטיבית: איזומטרית, הטלה פרספקטיבית ב-2,3, נקודות מיקוד. ההטלות מיוצגות בעזרת מטריצה כמו טרנספורמציה. 	הטלות

הטכניון	אוניברסיטת בן-גוריון	אוניברסיטת תל-אביב	נושאים בגרפיקה ממוחשבת
<p>שלושת האלגוריתמים לקביעת המשטחים הנסתרים : א. נקודת המבט ביחס למשוואת המיושר ב. ע"פ כיוון z שלילי ג. z-buffer ואלגוריתם הצייר</p>		<p>בנוסף לשלושת האלגוריתמים לקביעת המשטחים הנסתרים : א. נקודת המבט ביחס למשוואת המיושר. ב. ע"פ כיוון z שלילי. ג. z-buffer מתווספים האלגוריתמים : 1. מיון על-פי פסי רוחב, 2. מיון עומק - אלגוריתם הצייר שיילמד בפרק 8 ביחידת הלימוד 3. עץ BSP 4. חלוקה לתתי מצולעים.</p>	הסתרת משטחים נסתרים
<p>כל הטרנספורמציות הנלמדות ביחידת הלימוד + טרנספורמציות הטיה, ושיקוף. סיבוב סביב ציר כלשהו גם אם אינו מקביל לצירים במרחב המרוכב.</p>	<p>כל הטרנספורמציות הנלמדות ביחידת הלימוד + טרנספורמציית הטיה. חישוב מטריצות של טרנספורמציות מורכבות. הרחבה בנושא נקודה הומוגנית השותפה בביצוע טרנספורמציות. סיבוב סביב ציר כלשהו גם אם אינו מקביל לצירים במרחב המרוכב.</p>	<p>כל הטרנספורמציות הנלמדות ביחידת הלימוד + טרנספורמציות הטיה, ושיקוף. כן נלמדת הדרך לחישוב מטריצה של טרנספורמציה מורכבת.</p>	טרנספורמציה תלת-ממדית
<p>ייצוג כדור : הצגה פרמטרית, וייצוג כדור ברשת של משולשים.</p>		<p>כדור, אליפסה, עקומות פרמטריות, עקומות של פונקציות פולינומיאליות. משטחים עקומים.</p>	הרחבה בנושא גופים תלת-ממדיים
<p>סקירה בנושא : האור הנראה, והקליטה בעין. הצבע, קליטת הצבע בעין. חיישני RGB שבעין ובמסך, ההבדל בין CMY, CMYK, בנוסף נלמדים : דיאגרמת CIE Chromaticity YIQ Color Model HSL Color Model עיבוד תמונה : שיפור תמונה – בעזרת הגברת סטורציה. הפחתת מספר צבעים, מעבר לצבעי שחור לבן, מיזוג צבעים.</p>	<p>סקירה בנושא : האור הנראה, והקליטה בעין. ספקטרום הצבעים מעגל ניוטון של הצבעים . בנוסף למודלים : RGB, CMY, CMYL, HSV, הנלמדים ביחידה – נלמדים : דיאגרמת הצבעים CIE Chromatic Munsell מודל Ostwald מודל YIQ Color – הנמצא בשימוש בטלוויזיה המסחרית בארה"ב Y-בוהק IQ – מידת הצבעוניות שיפור תמונה דיגיטאלית.</p>	<p>סקירה בנושא : האור הנראה, והקליטה בעין. מושגים הקשורים בתמונה דיגיטאלית. CIE Chromatic בנוסף למודלים : RGB, CMYL, HSB עיבוד תמונה דיגיטאלית : חידוד, טשטוש, עיוות, מיזוג צבעים.</p>	הצבע

הטכניון	אוניברסיטת בן-גוריון	אוניברסיטת תל-אביב	נושאים בגרפיקה ממוחשבת
<ul style="list-style-type: none"> מודל פונג מודל Gouraud 	מודל פונג	בנוסף למודל תאורה פונג הנלמד ביחידה, <ul style="list-style-type: none"> תאורה שטוחה, תאורה מדורגת השתקפות. 	תאורה
שני אלגוריתמים לחישוב הצל המוטל : Shadow Map Shadow Volume - שבו הצל נראה חלק יותר.		הצללה חדה, והצללה רכה. (הצללה הנובעת ממקור אור נקודתי או מצולע). הצללה של מספר גופים גם על מישור ההטלה, וגם אחד על השני.	הצללה

מהטבלה עולה, שרוב הנושאים הנלמדים בתיכון, הינם נושאים בסיסיים הנלמדים גם באוניברסיטאות, אך לרוב הם נלמדים ביתר הרחבה והעמקה.

בבדיקה, מהם הנושאים הנלמדים באוניברסיטאות, ואינם נלמדים בתיכון עלו הנושאים הבאים :

אוניברסיטת תל-אביב

1. rendering - יצירת מודל הנראה תלת-ממדי, מציור דו ממדי ע"י תוספת: הוספת משטחים נראים, תאורה, הצללה, השתקפויות. מודל התאורה בו משתמשים בתמונה הנוצרת באופן ממוחשב נקרא מעקב קרניים (באנגלית: Ray Tracing). על-פי מודל זה עוקבים אחרי קרני האור היוצאות ממקורות האור דרך ההשתקפויות שלהם על האובייקטים בתמונה ועד הגעתם אל המצלמה הווירטואלית.
2. בתחום הציור הדו-ממדי (שאינו מופיע ביחידת הלימוד שכתבתי) מתווסף נושא קיטום תמונה (clipping) - התייחסות לנקודות, לקווים, למצולעים (קיטום שטח וגבולות המצולע) – המופיעים מחוץ למסגרת החיתוך, בעזרת האלגוריתם של Cohen Sutherland.
3. הוספת מרקם למשטח (Texture): נקודות, משבצות, מרקם מחוספס וכד'.
4. הכרות עם OpenGL - ממשק תכנות יישומים ליצירת תוכנות שמייצרות גרפיקה תלת ממדית ממוחשבת. תרגול הנושאים השונים נעשה בעזרת ממשק זה.

אוניברסיטת בן גוריון

1. הרחבה בנושאים מתחום הגרפיקה הממוחשבת: חומרה גראפית, אמצעי קלט ופלט גראפיים, רכיבי המחשב האחראים על הביצועים הגראפיים: cpu, gpu. פיקסלים, תמונות דיגיטאליות, מסך ותצוגה.
2. בתחום הציור הדו-ממדי (שאינו מופיע ביחידת הלימוד שכתבתי) מתווסף נושא קיטום תמונה (clipping) על-פי האלגוריתם של Cohen Sutherland.
3. אלגוריתמים לציור קו, ומעגל, ושכלול האלגוריתם על-פי האלגוריתם של Bresenham.
4. Rendering ומעקב קרניים (Ray Tracing).

5. הוספת מרקם למשטח.

6. הכרות עם OpenGL.

טכניון

1. הרחבה בנושאים מתחום הגרפיקה הממוחשבת: חומרה גראפית, אמצעי קלט ופלט גראפיים, יישומי גרפיקה ממוחשבת.
2. ציור קווים במישור בעזרת אלגוריתם Bresenham.
3. אנימציה - מימד הזמן- התפתחות האנימציה: מהנייר עד למחשב. הנושא נלמד בצורה בסיסית בכיתה יא' בלימוד הגרפיקה הדו-ממדית.
4. הכרות עם OpenGL.

השוואה בין הנלמד בתיכון לבין המוצג במצגות הקורסים הנלמדים באוניברסיטה

מהטבלה קיבלנו שרוב הנושאים שנלמדים בתיכון, נלמדים גם באוניברסיטה.

ישנם נושאים הנלמדים בתיכון ולא באוניברסיטאות:

- פרק 8 ביחידת הלימוד בתיכון עוסק ביחס שבין הגופים השונים, ובקביעת סדר ציור גופים שונים הנמצאים במרחב.
לא מצאתי אזכור לנושא זה בתוכניות הלימוד באוניברסיטה.
- ביחידת הלימוד בתיכון ישנה הרחבה בנושא אלגוריתמים המתבצעים על גופים דו-ממדיים וגופים תלת-ממדיים כגון: חיתוך מלבנים, חיתוך פאונים, בדיקה האם נקודה מוכלת בגוף תלת-ממדי.
גם נושא זה לא הוזכר במצגות הקורסים.

הבדל בולט בסדר הנושאים הנלמדים: ביחידת הלימוד בתיכון הנושא הראשון הנלמד הוא ייצוג גופים תלת-ממדיים. על ייצוג הגופים בנויה כל היחידה. לעומת זאת במצגות הקורסים נושא זה נלמד כנושא שישי או שביעי, מאחר ולא נעשה שימוש מעשי באופן הייצוג, והתכנות נעשה תוך שימוש בממשק גראפי OpenGL.

הנושאים שלא הוכנסו לתכנית הלימוד בתיכון, ונלמדים באוניברסיטאות:

בתחום הגרפיקה הדו-ממדית:

- Rendering, ומעקב קרניים
 - קיטום תמונה (Clipping)
 - עיבוד תמונה דיגיטלית (חידוד, טשטוש, מיזוג צבעים וכד')
- בתחום הגרפיקה התלת-ממדית:

- הוספת מרקם למצולע במרחב.
- עקומות, ומישורים עקומים.

בכנס השנתי ה-23 שעסק בגרפיקה ממוחשבת, נערך פאנל בו ישבו נציגים מתחומים שונים בגרפיקה ממוחשבת שדנו בהצלחות העבר, ובשאיפות לעתיד (Machover, Brooks, Catmull, Sylva, Dunn, Herzog, & Van Dam, 1996). כל אחד מהם התייחס לנושאים הקשורים לתחום עבודתו והתמחותו.

Carl Mackover: במשך כארבעים שנה היה מעורב בתחום הגרפיקה הממוחשבת כיועץ, כיוזם, וכאיש אקדמיה, והוא דן בהתפתחות הגרפיקה הממוחשבת. בעבר התוכנות לא היו גראפיות בגלל איטיות המחשבים ועלות החומרה. עם השנים, עלות החומרה פחתה, ובמקביל מהירות הביצועים עלתה, והיום ובעתיד נראה שלא יהיו תוכנות שאינן גראפיות. ובמילים שלו הגרפיקה הפכה מתרופה למחלה לא ידועה לתרופה לכל מחלה ידועה. "cure for no known disease" to being a "cure for every known disease".

Dr. Frederick Brooks: עוסק בממשקים שבין אדם-ומכונה. מנועים גרפיים מהירים ורזולוציית המסך הגבוהה הקיימים היום מאפשרים להגדיל את מורכבות העולם בו ניתן לטפל בזמן אמת. אלו והמעבר מתמונה דו-ממדית לדגם תלת ממדי מאפשרים ליצור מציאות מדומה. מציאות מדומה (artificial reality) הינה סימולציה של הסביבה, מלאה במידת האפשר, באמצעות מחשב, באופן הנותן למשתמש אשליה כי הוא באמת בסביבה המציאותית אותה מדמה המחשב.

Dr. Edwin Catmull: היה חלוץ בתחום האנימציה, ופרץ דרך בתחום יצירת סרטים על טהרת הגרפיקה הממוחשבת. הנושא המתפתח הבא בתחומו, הוא שימוש בגרפיקה ובאנימציה ליצירת אשליות.

Sylvan Chasen: היה חלוץ בכתיבת תוכנות גראפיות לתכנון הנדסי ולעיבוד-CAD, CAM. הוא אומר שהמטרה כיום היא למצוא דרכים לחיפוש, אחסון ושליפה של מידע מתוך מאגר עצום של מידע על-פי ממשק אחיד, אך יותר חשוב הוא למצוא את הדרכים ל"למד" את המחשבים כמו גם את הציבור הלא מקצועי, לשאול את השאלות הנכונות בחיפוש המידע.

Robert M. dunn: עמד בראש ועדה שקבעה את אחד התקנים הראשונים להתקנים גראפיים-CORE. לדבריו כל טכנולוגיית מיחשוב חדשה יצרה אתגרים חדשים למתכנתים, ולמשתמשים. מתכנת ויוזם צריכים לשקול האם העלות וההשקעה בפיתוח הטכנולוגיה החדשה משתלמים. לעומת זאת למשתמשים שאינם מתכנתים, השימוש בטכנולוגיות החדשות מתאפשר בזכות הממשקים הגראפיים. בתחום הגרפיקה הממוחשבת, המטרה היא לפתח טכנולוגיות שיאפשרו ביצועים מהירים יותר בצורה פשוטה יותר שתתאים לכל משתמש בדומה לממשקים הגראפיים.

Dr Andries van Dam: עוסק בגרפיקה הממוחשבת כבר 30 שנה בתחום הפיתוח והחינוך. כתב מספר ספרים בתחום הגרפיקה הממוחשבת.

הוא מתאר את ה WIMP ואת התפתחותו, ואת השפעת התקדמות הגרפיקה והמולטימדיה בתוכנה ובחומרה, על הממשקים למשתמש.

ה-wimp אלו ראשי תיבות של window-icon-menu-pointer.

window - אפשרות הרצת חלון במקביל לחלונות אחרים.

icon - סמל המשמש כקיצור דרך לביצוע משימה.

menu - תפריט המאפשר בחירה בין ביצוע משימות.

pointer - מצביע העכבר המאפשר לבחור בתפריט על המסך.

סיכום

בעבודה זו הוצגה יחידת לימוד "תכנון ותכנות מערכות גראפיות" ערוכה על-פי תכנית הלימודים שנקבעה לכיתות י"ב על-ידי משרד החינוך כפי שמתוארת באתר מדעי המחשב וטכנולוגיות מידע.

יחידת הלימוד מציעה דרך לייצוג גופים תלת-ממדיים ואלגוריתמים שונים לפתרון בעיות כגון: העלמת משטחים נסתרים, ביצוע טרנספורמציה, בדיקת חיתוך של גופים ועוד. כמו כן הוצגו אלגוריתמים נוספים לפתרון הבעיות שלא הוכנסו ליחידת הלימוד מסיבות שאליהן התייחסתי בעבודה.

מכיוון שהמטרה הסופית בלימוד היחידה הינה תכנון ותכנות פרויקט גמר, הוצגו השלבים בתכנון הפרויקט בגרפיקה ממוחשבת ובתכנותו.

בחלק התיאורטי של העבודה, הוצגה השוואה של הדומה והשונה בין נושאי הלימוד ואופן לימודם בבתי ספר תיכוניים ובמוסדות האקדמיים, ונמצא כי רוב מוחלט של הנושאים נלמד הן בבתי הספר התיכוניים והן במוסדות האקדמיים, אם כי בהן ניכרת העמקה רבה יותר בתכני הלימוד.

לאור ההיקף הרב של חומר הלימוד, התמקדתי בעבודה זו בנושאי הלימוד שהוגדרו לכיתות י"ב. יחד עם זאת, יש מקום להרחיב את העבודה גם לנושאי הלימוד של כיתות י"א העוסקים בגרפיקה דו-ממדית.

תחום הגרפיקה הממוחשבת אינו נלמד בצורה נרחבת בבתי הספר התיכוניים, ואני מקווה שהפצת היחידה בקרב המורים, תגדיל את מספר בתי הספר שיבחרו ללמד חלופה זו.

ביבליוגרפיה

1. הרן, ד., בייקר, פ., (1986), *גרפיקה ממוחשבת-כרך ב* (תרגום: א. ששון), תל-אביב: האוניברסיטה הפתוחה.
2. רגוניס, נ., (יוני 2007), *הוראת מדעי המחשב ברחבי העולם: סקר ספרות*, בתוך: **היבטים בהוראת מדעי המחשב**, חיפה: הטכניון
3. אתר מדעי המחשב וטכנולוגיות מידע, משרד החינוך
<http://www.csit.org.il/Default.aspx?MenuShow=TEKEM>
4. אתר הקורס גרפיקה ממוחשבת בטכניון <http://webcourse.cs.technion.ac.il/234325>
5. אתר הקורס גרפיקה ממוחשבת באוניברסיטת בן-גוריון
<http://www.cs.bgu.ac.il/~graph121/Main>
6. אתר הקורס גרפיקה ממוחשבת באוניברסיטת תל-אביב
<https://sites.google.com/site/taucg2011a/home/lectures>
7. Badler, N., & Bajcsy, R. (August 1978), *Three-dimensional representations for computer graphics and computer vision*, in Proceedings of the 5th annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 153-160 .
8. Bresenham, J., Laxer, C., Lansdown, J. , Owen, G. S., & Larrondo-Petrie M. M. (July 1994), *Approaches to teaching introductory computer graphics*, in Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 479-480.
9. Drettakis, g. & Fiume, E. (July 1994), *A fast shadow algorithm for area light sources using Backprojection*, in Proceedings of the 21st annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 1-8.
10. Ferguson, R. I. (2002), **Computer graphics via Java**, Typeset in Durham by Ab-Libris Ltd.
11. Gal-Ezer, J. et al. (1995). *A high-school program in computer science*. Computer, 28(10), 73-80.
12. Gal-Ezer, J., & Harel, D. (1999). *Curriculum and course syllabi for a high-school computer science program*. Computer Science Education, 9(2), 114-147.
13. Hazzan, O., Gal-Ezer, J., & Blum, L. (February 2008), *A model for high school computer science education: the four key elements that make it!* in Proceedings of the 39th SIGCSE technical symposium on computer science education, pp. 281-285.

14. Hearn, D. & Baker, M. P. (1996), Computer graphics-c version,
http://adeli.ir/repository/Graphics/Hearn_Baker_Computer_Graphics.pdf
15. Joblove, G. H., & Greenberg, D. (August 1978), *Color spaces for computer graphics*,
in Proceedings of the 5th annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 20-25.
16. Kwon, O., & Li, K. (November 2011), *Progressive spatial join for polygon data stream*,
in Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International conference on advances in geographic information systems, pp. 389-392.
17. Machover, C., Brooks, F., r. Catmull, E., Sylva, P., Dunn, R. M., Herzog, B., Van Dam, A. (August 1996), *Springing into the fifth decade of computer graphics: where we've been and where we're going!*
in Proceedings of the 23rd annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp.513-514
18. Sung, K. ,& Shirley, P. (July 2003), *A top-down approach to teaching introductory computer graphics*,
in Proceeding SIGGRAPH 2003 educators program, pp. 1-10.
19. Truckenbrod, J. R. (August 1981), *Effective use of color in computer graphics*,
in Proceedings of the 8th annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 83-90.
20. Weiler, K. & Atherton, P. (August 1977), *Hidden surface removal using polygon area sorting*,
in Proceedings of the 4th annual conference on computer graphics and interactive techniques, pp. 214-222.

Summary

In the summary, I wrote a review of the curriculum of "software engineering" studies, as published by the Ministry of Education. I mentioned the compulsory studies as well as the various alternatives. In particular, I expanded on the curriculum of "planning and programming graphical systems".

Before I wrote the studies unit, I read textbooks and several articles that display a variety of methods for teaching the topics covered in the unit.

I combined the teaching methods which I found appropriate, in terms of relevance and difficulty level in my unit, but I also mentioned other methods which I didn't add to the unit. At the end of the unit, I added a guidance chapter for the project's developer.

In addition, I made a comparison between the existing curriculums as it is taught in high schools and those taught in three universities in Israel: Tel - Aviv University, Ben-Gurion University and the Technion, in the course "Computer Graphics".

Introduction

Many high schools in Israel teach "computer science" studies. The studies enable students to learn 5 study units. One programming language (Java or C #) is taught in depth, as well as familiarity with other programmatic paradigm.

The study of "software engineering" is an extension of the "computer science" studies. It is only taught in some high schools. During three years of study, the students study 5 units of "computer science", 5 units of "designing and programming systems" and 5 units of science studies. This gives a total of 15 units, ten of which are in computer science.

Three of the 10 study units are compulsory units in which students learn object-oriented programming language, but the other units are selected by the school out of several alternatives. In this paper, I will review the compulsory units and the various alternatives. In "planning and programming systems" studies, the students have to submit a project in one of the seven alternatives. One of the alternatives is called "planning and programming graphical systems". My final paper will focus on this alternative.

The purpose of this alternative is to learn to develop graphics applications in windows environments. The knowledge includes introduction to data structures and algorithms in 2 and 3 dimensional graphics, and familiarity with object-oriented programming in graphic environments. At the end of their studies, the students develop a graphics project in object oriented programming language.

Today, very few teachers teach this alternative due to several reasons; one of them, if not the primary, is that there are no books that includes the all required material, and teachers have to gather information from various sources. In the 1990s, the book "Computer Graphics" was published by the School of Technology of the Open University. It includes the study material and also expands it, but is not suitable for teaching in high schools and is not written for object oriented languages.

I taught this unit for over 10 years, in a partial and not very organized way, and since I want to continue teaching it fully, and there is no textbook available, I chose to write the study unit so that it includes the full mandatory curriculum as well as object oriented programming languages. (The curriculum includes challenging topics for advanced students that the teachers aren't required to teach. I did not relate to most of them.)

Because of the wide scope of the unit, and in coordination with supervisor Dr. Ela Zur, I concentrated only on the subjects that are taught in the twelfth grade: the 3-dimensional graphics.

Contents

Introduction.....	3
1. Review of the curriculum in software engineering.....	4
1.1. Studies of computer science.....	4
A. Computer science 1.....	4
Computer's Lab experience.....	5
B. Computer science 2.....	6
1.2 Planning and programming systems.....	7
1.3 Planning and programming graphical systems.....	10
2. Discussion on other ways to teach the topics.....	14
1.3 3-D shapes representation.....	15
2.2 projections.....	20
2.3 Hide hidden surfaces.....	21
2.4 Colors.....	23
2.5 Lighting.....	25
2.6 Shading.....	28
3. Comparison of computer graphics studies.....	29
4. The objectives of computer graphics.....	33
Summary.....	35
Bibliography.....	36

The Open University
Department of Mathematics and Computer Science



Computer Graphics – Study Unit
for Software Engineering Studies(Theoretical part)

Final Paper submitted as fulfillment of the requirement
Towards a Master of Science degree In computer science
The Open University of Israel
Computer Science Division

By
Sharon Abudi

Prepared under the supervision of Dr. Ela Zur

June 2013