

מיני פרויקט מבוא להנדסת תוכנה

חברת פרויקט מסכם

2	מבוא
2	מטרת הפרויקט
5	פרימיטיביים Primitives
6	קואורדינטה - Coordinate
7	נקודה במישור - Point2D
8	נקודה במרחב - Point3D
9	ווקטור - Vector
10	ישר במרחב - Ray
11	חומר - Material
12	גאומטריות Geometries
13	גאומטריה Geometry
14	גאומטריה רדיאלית - Radial Geometry
15	מישור - Plane
16	משולש - Triangle
17	כדור - Sphere
18	גליל - Cylinder
19	אלמנטים Elements
20	מצלמה - Camera
21	אור - Light
22	מקור אור - Light Source
23	אור סביבתי - Ambient Light
24	אור כיווני - Directional Light
25	אור נקודתי - Point Light
26	אור זרקורים - Spot Light
27	סצנה - Scene
27	סצנה Scene
29	כותב התמונה - Image writer
29	מרנדר Renderer
31	רנדר - Render
32	ממשק משתמש User Interface
33	ראשי - Main
33	בקור - Controller
34	UI.FXML

מבוא

מטרת הפרויקט

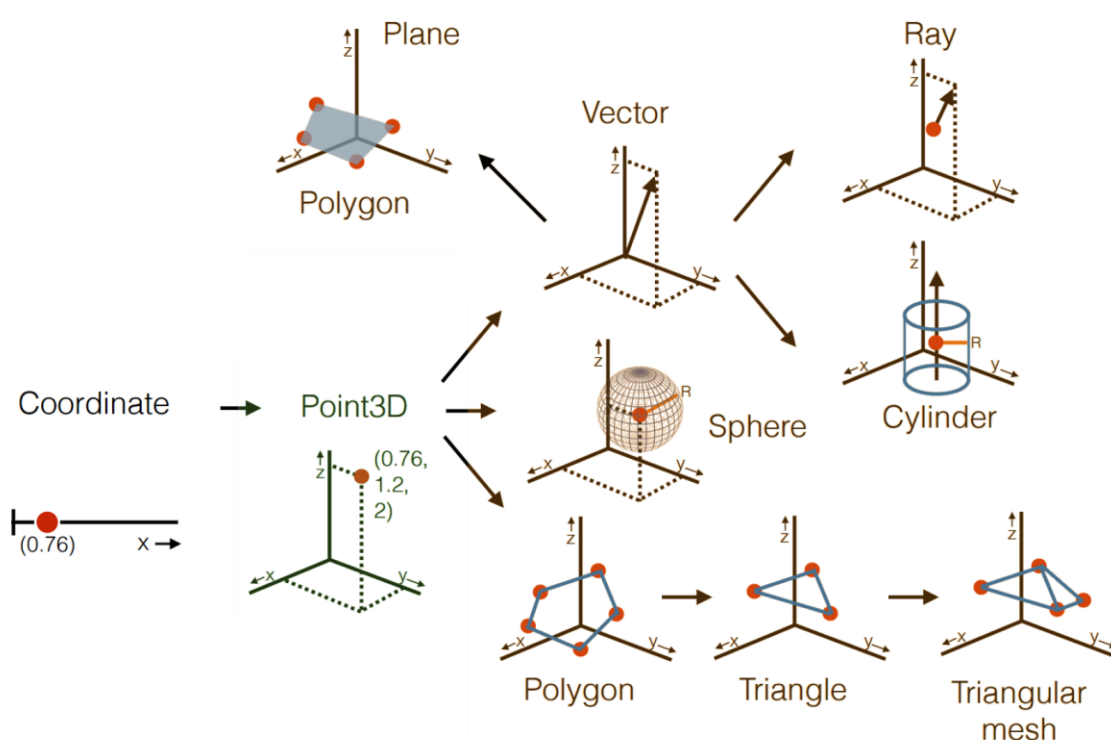
מטרתו של הפרויקט להבנות עקרונות עדכניים ומעשיים בשוק העבודה בארכיטקטורת התוכנה אותה בונים.

בפרויקט הנ"ל נייצג מערכת לינארית, ללא שימוש בעצמים המובנים בשפה, כאשר בסיום הפרויקט, בתוצאה הסופית, נייצר תמונות ויזואליות עפ"י קריטריונים שנכניס לה מראש (סוג העצם, צורתו, מקור האור וכד') עפ"י מודל האור של פונג.

מטרת הפרויקט אינה המימוש של העצמים ולא למידת השפה, את זאת ניתן למצוא בקלות מרבית בערוצי YouTube, Stack Overflow, וחיפוש איכותי בGoogle.

מטרת הפרויקט להנחיל עקרונות תכנות agile שהינם אבן דרך בשוק העבודה העדכני היום, יכולות הסתגלות לחומרים חדשים שאינם מוכרים (שפת התכנות java) ו/או מוכרים למחצה (מערכת לינארית) עבודה בצוות ובדיקת התוכנה ביעילות ע"י test-case עם junit ולא ע"י תכנית ראשית (כמו נובים בשנה א').

במהלך הפרויקט העמקנו במודל האור של פונג, יצרנו צורות תלת-ממדיות העוקבות למודל ובסופו בנינו ממשק משתמש, המאפשר יצירת תמונות ביתר קלות.

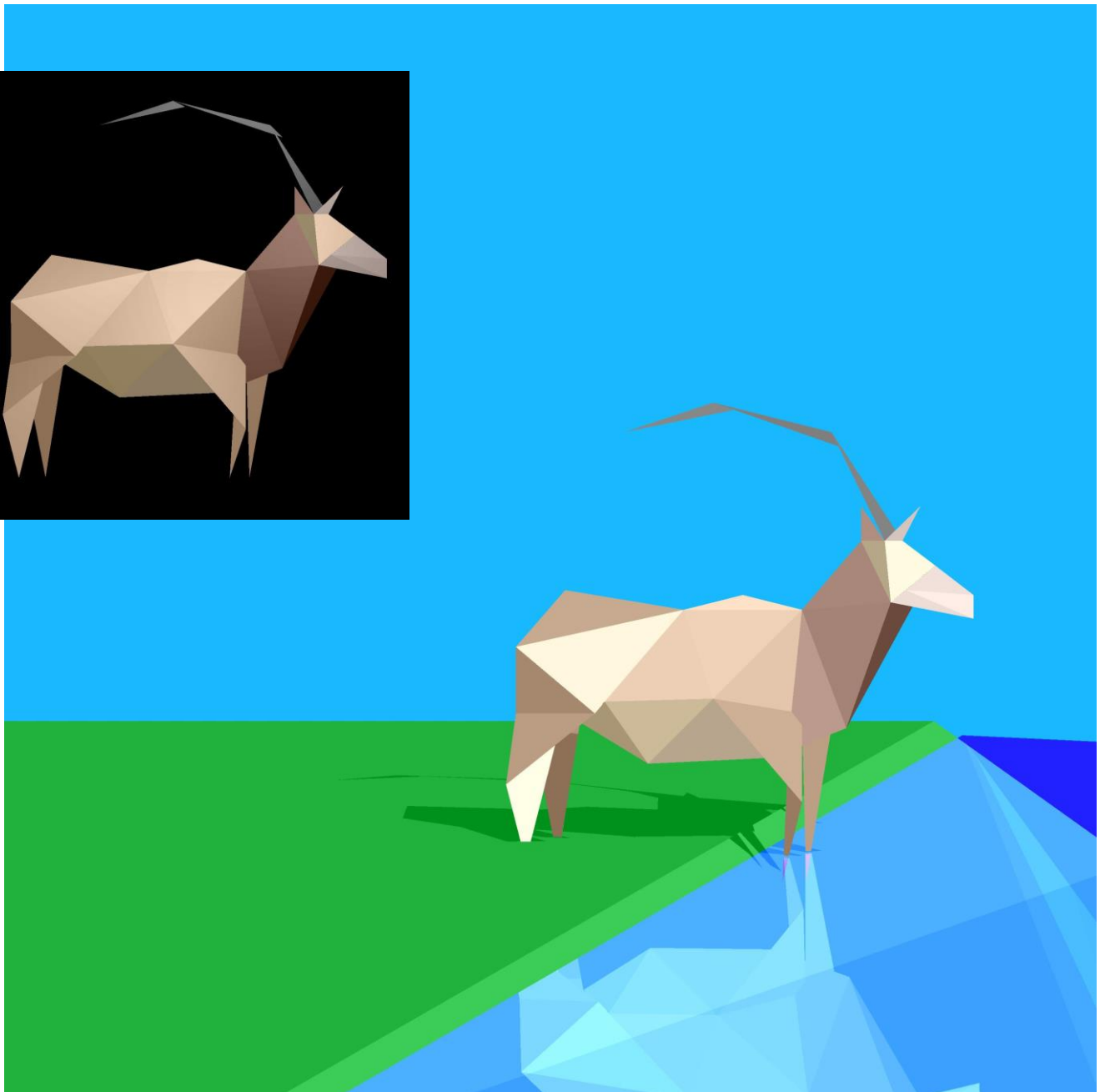
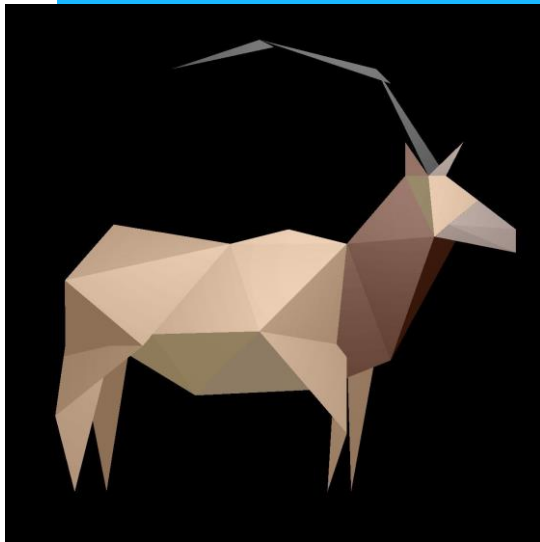


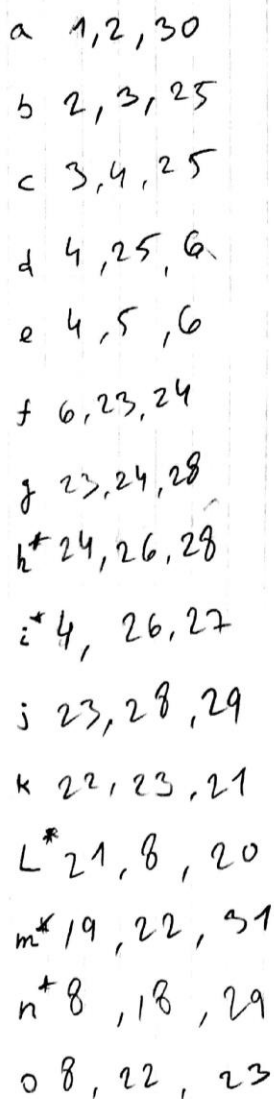
בסוף הפרויקט לקחנו תמונה מהאינטרנט;

1. מיפינו את הנקודות שלה על מערכת צירים xy (בתמונה ובקוד מיוצג עם מספרים).
2. מיפינו את הצורה למשולשים (בתמונה ובקוד מיוצג ע"י אותיות abc וע"י קידומת h -horn).
3. נתנו לכל נקודה עומק (ציר z).
4. רינדרנו.

נוצר אפקט עין הדג, הבעיה בה קצוות התמונה מרוחים. פתרנו את הבעיה ע"י שימוש בקירוב פיזיקלי שאומר שקווים מקבילים נפגשים באינסוף. הפתרון היה הרחקת המצלמה ברמת האינסוף מגוף החיה (בפקטור גדול מ-2000 נק').

מצורפות התמונה הסופית, אחרי שהוספנו סביבה (דשא, מים ושמים), תמונה נקייה ודף החישובים הראשוני.





P	6, 8, 23	H_1	32, 33, L_1
Q	6, 7, 8	H_2	L_1, L_2, L_3
r	8, 17, 18	H_3	L_3, L_4, L_5
S	13, 17, 18		
t	8, 9, 12		
u	9, 32, 17		
v	9, 10, 32		
w	32, 11, 33		
x	12, 17, 13		
y	13, 14, 16		
z	14, 15, 16		
a	15, 16, 17		

16.	$13\frac{1}{2}$	$9\frac{2}{3}$	0.3
17.	13	$9\frac{1}{4}$	0.7
18.	$11\frac{1}{2}$	5	0
19.	10.15	$\frac{1}{2}$	-2
20.	$9\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	2
21.	10	$2\frac{1}{2}$	2
22.	10	$5\frac{1}{2}$	-0.3
23.	7	6	2.25
24.	$3\frac{1}{3}$	5.05	1.5
25.	3	$5\frac{1}{2}$	1.5
26.	$2\frac{2}{3}$	5	0.1
27.	$13\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	-2
28.	$4\frac{4}{5}$	$3\frac{4}{5}$	0.5
29.*	9	4	0
30.*	$1\frac{2}{3}$	$4\frac{1}{3}$	1.7
31.*	11	8	-2
32	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{1}{3}$	0
33	13.4	$11\frac{1}{3}$	0

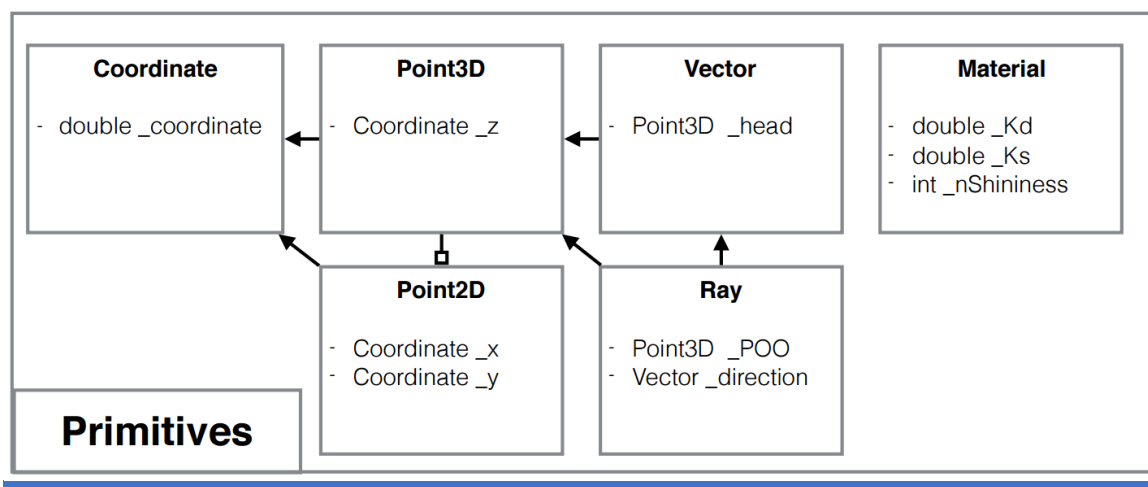
7001) 12)

f. & z 46

$k_1: 11, 15, 0.5$
 $k_2: 11.5, 14.5, 0.4$
 $k_3: 7, 16, 0.7$
 $k_4: 7.5, 15\frac{3}{4}, 0.65$
 $k_5: 4, 15, 0.7$

פרימיטיבים

Primitives



קואורדינטה - Coordinate

המחלקה מציגה נקודה במרחב שממומשת ע"י טיפוס מסוג double.
למחלקה יש פעולות חשבוניות בסיסיות, השוואה עם קואורדינטה אחרת, בנאים פשוטים ובנאי העתקה.

- מאפיינים
 - מספר ממשי - קואורדינטה
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל שני מספרים ממשיים
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות אריתמטיות
 - חיבור
 - חיסור
 - כפל
- פונקציות סטטיות
 - חיבור
 - חיסור
 - כפל
- פונקציות נורשות
 - compareTo – המחלקה מממשת את comparable
 - toString

נקודה במישור – Point2D

המחלקה מציגה נקודה במישור xy ע"י שימוש במחלקת קואורדינטה. במחלקה נעשה שימוש עם קואורדינטה עבור ציר x ועבור ציר y . למחלקה יש פעולות חשבוניות בסיסיות, השוואה, בנאים פשוטים ובנאי העתקה.

- מאפיינים
 - קואורדינטה המייצגת X
 - קואורדינטה המייצגת Y
- בנאים
 - בנאי ברירת מחדש
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל 2 מספרים ממשיים
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות אריתמטיות
 - חיבור
 - חיסור
- פונקציות נורשות
 - compareTo – המחלקה מממשת את comparable

נקודה במרחב – Point3D

המחלקה מתארת נקודה במרחב התלת-ממדי המוכר לנו ע"י שימוש ב-3 קואורדינטות עבור מערכת צירים קרטזית של x, y, z ע"י ירושה ממחלקת נקודה המישור, ודריסת הפונקציות החשבוניות, ההשוואה והבנאים. כאשר היה ניתן, השתמשנו בפונקציות הנורשות, ולאחר מכן, השלמנו את שצריך בעצמנו.

- מאפיינים
 - קואורדינטה המייצגת Z
- בנאים
 - בנאי ברירת מחדש
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל 3 מספרים ממשיים
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות אריתמטיות
 - חיבור נקודות
 - חיבור ווקטור
 - חיסור
 - כפל
 - מרחק
- פונקציות סטטיות
 - חיבור נקודות
 - חיבור ווקטור
 - חיסור
 - כפל
 - מרחק
- פונקציות נורשות
 - compareTo – המחלקה מממשת את comparable
 - toString

המחלקה מתארת כיוון במרחב ע"י נקודה point3d בודדת, תוך שימוש בלוגיקה כי הווקטור מיוצג ע"י 'קו' הנמתח מראשית הצירים $(x,y,z)=(0,0,0)$ עד לנק' head_ (השדה הממומש).
למחלקה פעולות חשבוניות המוכרות לווקטורים (חיבור/חיסור/דוט/כרוס/פרודקט/ נורמליזציה/ סקאל) שממומשות כפי שנלמד במסגרת הקורס אלגברה לינארית א'. כמו כן, נבנו פונקציות סטטיות העוקבות אחר הכללים המתמטיים, ע"מ לחסוך בבניית עצמים בהמשך הפרויקט, ולהקל על הקריאות למחלקה בנאים בסיסיים: 2 נק' המרחב (חיסור היעד במקור), 3 קואורדינטות, 3 עצמי double, העתקה.

○ מאפיינים

- נקודה - ראש הווקטור ביחס לראשית הצירים

○ בנאים

- בנאי ברירת מחדש
- בנאי העתקה
- בנאי המקבל 3 קואורדינטות
- בנאי המקבל 3 מספרים ממשיים
- בנאי המקבל נקודה במרחב
- בנאי המקבל 2 נקודות במרחב

○ פונקציות get/set

- החזרה של הערך עצמו
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק

○ פונקציות אריתמטיות

- חיבור ווקטורים
- חיסור ווקטורים
- כפל בסקלר
- אורך
- מכפלה סקלרית
- מכפלה וקטורית
- נרמול

○ פונקציות סטטיות

- חיסור ווקטורים
- כפל בסקלר
- מכפלה סקלרית
- מכפלה וקטורית
- נרמול

○ פונקציות נורשות

- toString

$$\alpha v = \alpha \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha v_1 \\ \alpha v_2 \\ \alpha v_3 \end{pmatrix}$$

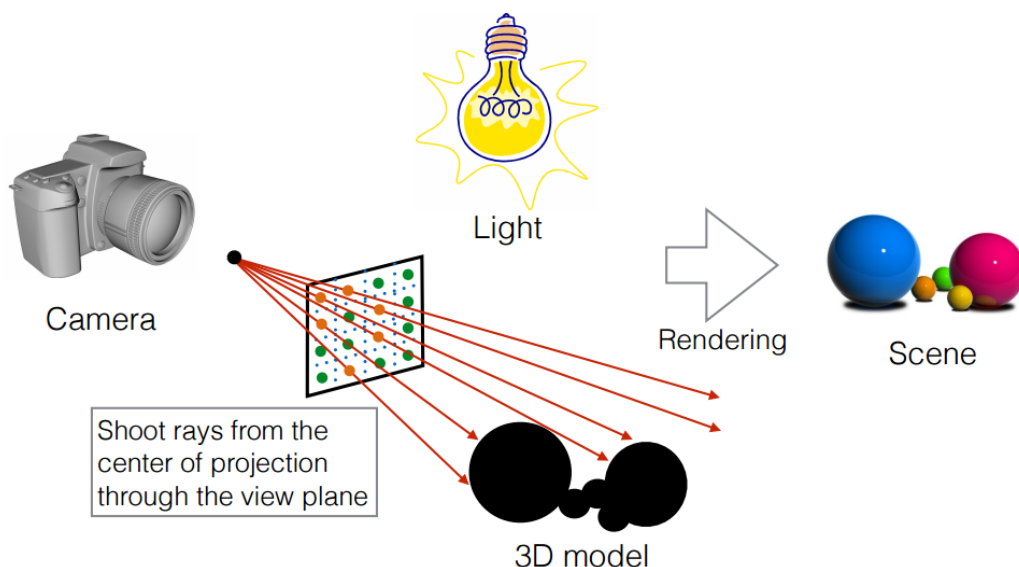
$$u + v = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 + v_1 \\ u_2 + v_2 \\ u_3 + v_3 \end{pmatrix}$$

$$u \cdot v = u_1 v_1 + u_2 v_2 + u_3 v_3$$

$$u \times v = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_2 v_3 - u_3 v_2 \\ u_3 v_1 - u_1 v_3 \\ u_1 v_2 - u_2 v_1 \end{pmatrix}$$

המחלקה קרן מייצגת קרן ויזואלית, כפי שרואים ביום (קרן שמש למשל). המחלקה מיוצגת ע"י וקטור כיוון, ונק' ראשית. למחלקה אין פונקציונליות מלבד השמת ערכים, ונרמול וקטור הכיוון בבנאי. המחלקה מייצגת יותר לוגיקה מאשר פונקציונליות שתשמש אותנו בהמשך הפרויקט כשנגיע לקרני אור.

- מאפיינים
 - ווקטור כיוון.
 - נקודה.
- בנאים
 - בנאי ברירת מחדש.
 - בנאי העתקה.
 - בנאי המקבל ווקטור ונקודה.
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו.
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.



המחלקה מייצגת חומרים המוכרים לנו בחיי היום יום. למחלקה יש שדות מסוג double אשר מייצגים (באחוזים) עד כמה העצם המדובר שקוף/ מחזיר אור/ מחוספס וספקולרי. למחלקה זו גם כן אין פונקציונליות מלבד השמת ערכים.

○ מאפיינים

- ממשי המייצג פיזור.
- ממשי המייצג בליעת אור.
- ממשי המייצג יחס אור מוחזר.
- ממשי המייצג יחס אור מפוזר.
- ממשי המייצג שינוי זווית האור.

○ בנאים

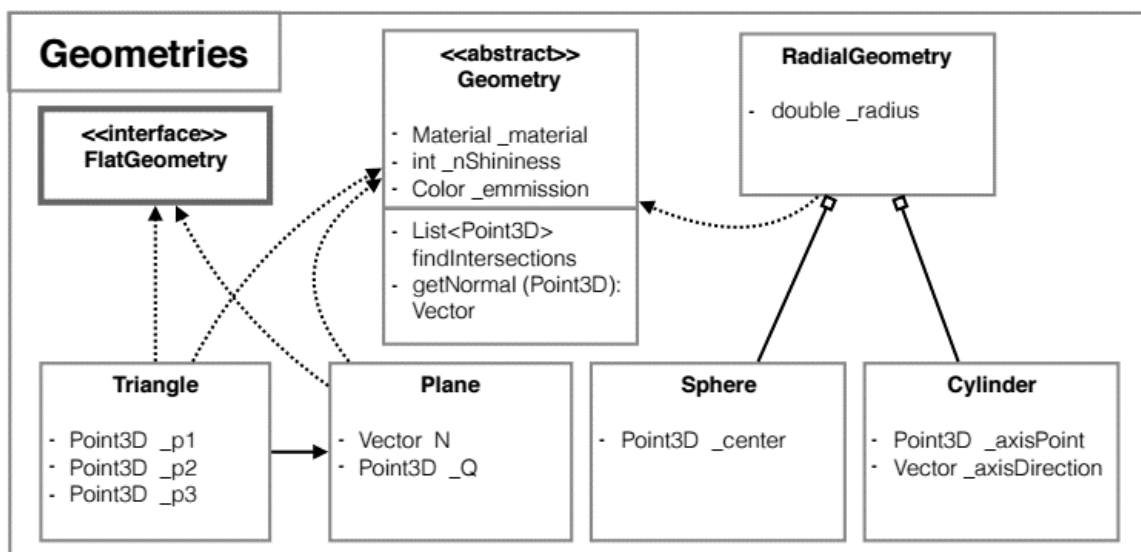
- בנאי ברירת מחדל.
- בנאי העתקה.

○ פונקציות get/set

- החזרה של הערך עצמו
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.

גאומטריות

Geometries



גאומטריה Geometry

מחלקה אבסטרקטית. מחלקה שכל צורה גאומטרית צריכה 'להכיר' ע"מ שנוכל לבצע פעולות בסיסיות שקשורות לאור עפ"י מודל האור של פונג.

- מאפיינים
 - חומר ממנו עשוי.
 - מבריקות.
 - ברק.
 - צבע.
- פונקציות get/set – גם של החומר
 - החזרה של הערך עצמו.
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.
- פונקציות אריתמטיות – אבסטרקטיות
 - חיתוך עם ישר.
 - נורמל ביחס לנקודה.

גאומטריה רדיאלית – Radial Geometry

יורשת מגיאומטריה ומממשת את Comparable. המחלקה 'מתאימה' לגאומטריות מבוססות צנטריפטליות, כדוגמת ספארה וצילינדר. כל צורה גאומטרית עם נתונים אלו צריכה להיות יכולה להתממשק עם גאומטריה בצורה חלקה, לפחות כמו המוצרים של חברת apple (בלי להשוות).

- מאפיינים
 - רדיוס.
- בנאים
 - בנאי ריק.
 - בנאי המקבל רדיוס.
- פונקציות get/set – גם של החומר
 - החזרה של הערך עצמו.
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.
- פונקציות נורשות
 - compareTo – המחלקה מממשת את comparable.
 - toString.

יורש מגיאומטריה. מייצג מישור אינסופי בעולם התלת-ממדי המוכר לנו. למישור אין עובי, והוא מיוצג ע"י הנורמל ונקודה, בדומה למשוואת המישור הקרטזי.

- מאפיינים
 - ווקטור נורמל
 - נקודה במרחב
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל 3 נקודות
 - בנאי המקבל ווקטור ונקודה
- פונקציות get/set – גם של החומר
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות אריתמטיות
 - חיתוך עם ישר

יורש מגאומטריה. דומה למישור במאפייניו, אך בשונה ממנו, אינו אינסופי אלא מוגבל בתחום המשולש המכיל 3 פינות. הפונקציונליות דומה לשל מישור, ואף יש דמיון במימוש.

- מאפיינים
 - 3 נקודות – פינות המשולש
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי המקבל 3 נקודות
 - בנאי העתקה
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות אריתמטיות
 - חיתוך עם ישר
 - נורמל ביחס לנקודה
 - פונקציית עזר העוזרת לבדוק האם נקודה נמצאת על המשולש

יורש מגאומטריה רדיאלית. הגאומטריה מתארת כדור, כמו האחד שלוקחים לים או האחד שמשחקים איתו בגינה. אין פונקציונליות מלבד חיתוך עם ישר, והחזרה של נורמל ביחס לנקודה. אין צורך בפונקציונליות נוספת, הצורה פשוטה למדי.

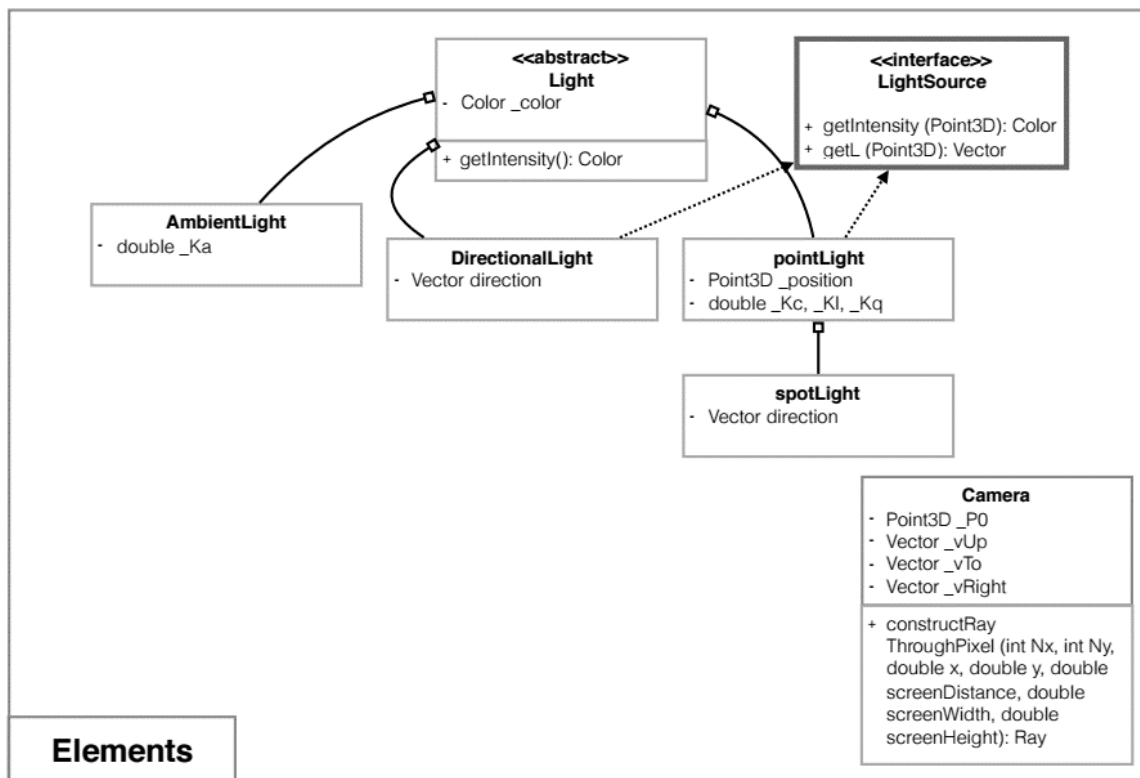
- מאפיינים
 - נקודה במרחב – מרכז.
- בנאים
 - בנאי המקבל נקודה ורדיוס.
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו.
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.
- פונקציות אריתמטיות
 - חיתוך של ישר.
 - נורמל ביחס לנקודה.

יורש מגאומטריה רדיאלית. הצורה מתארת גליל אינסופי. רובו אינו ממומש במסגרת הקורס.

- מאפיינים
 - נקודה במרחב.
 - ווקטור ציר.
- בנאים
 - אין כרגע.
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו.
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.
- פונקציות אריתמטיות
 - חיתוך עם ישר – לא ממומש כרגע.
 - נורמל ביחס לנקודה.

אלמנטים

Elements



לב הפרויקט. מתאר את זווית הראיה. האלמנט הנ"ל מייצג את העין שלנו, דרך המסך. לאלמנט ממומש פונקציית יצירת קרני אור, שמדמה קרני האור הנוצרות ממצלמה הממוקמת המרחב ומצביעה למקום מסוים במערכת xyz .

○ מאפיינים

- נקודה – מיקום העדשה.
- וקטור המכוון למעלה - ציר Y .
- וקטור המכוון ישר - ציר Z .
- וקטור המכוון ימינה - ציר X .

○ בנאים

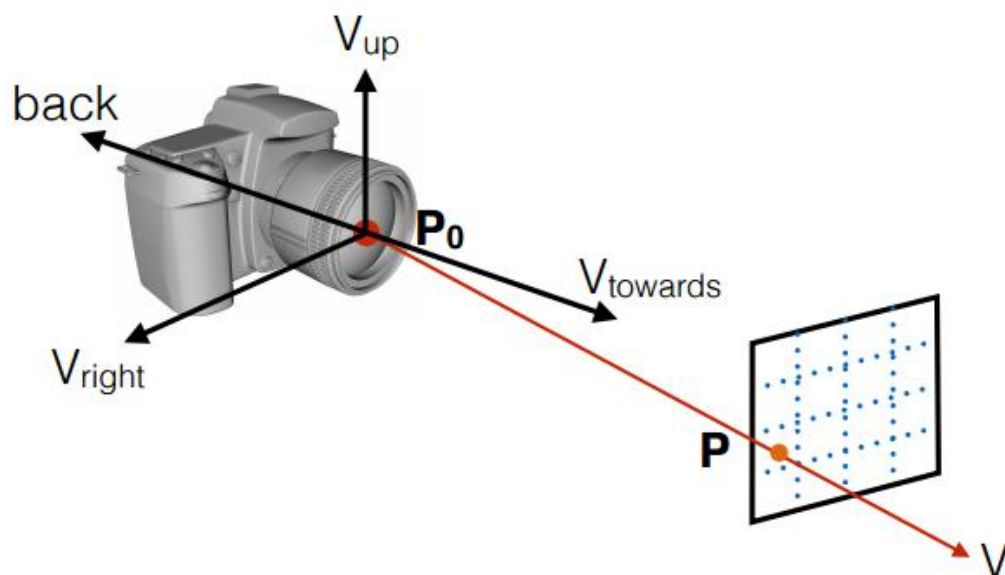
- בנאי המקבל נקודה ושני ווקטורים - הווקטור השלישי מגיע ממכפלה ווקטורית.

○ פונקציות אריתמטיות

- יצירת קרניים דרך פיקסלים.
- פונקציות עזר לפונקציה הנ"ל:
- פונקציה המחשבת אורך/ רוחב של כל פיקסל.
- פונקציה המוצאת ווקטור הזזה לנקודה ביחס לנקודת האמצע.

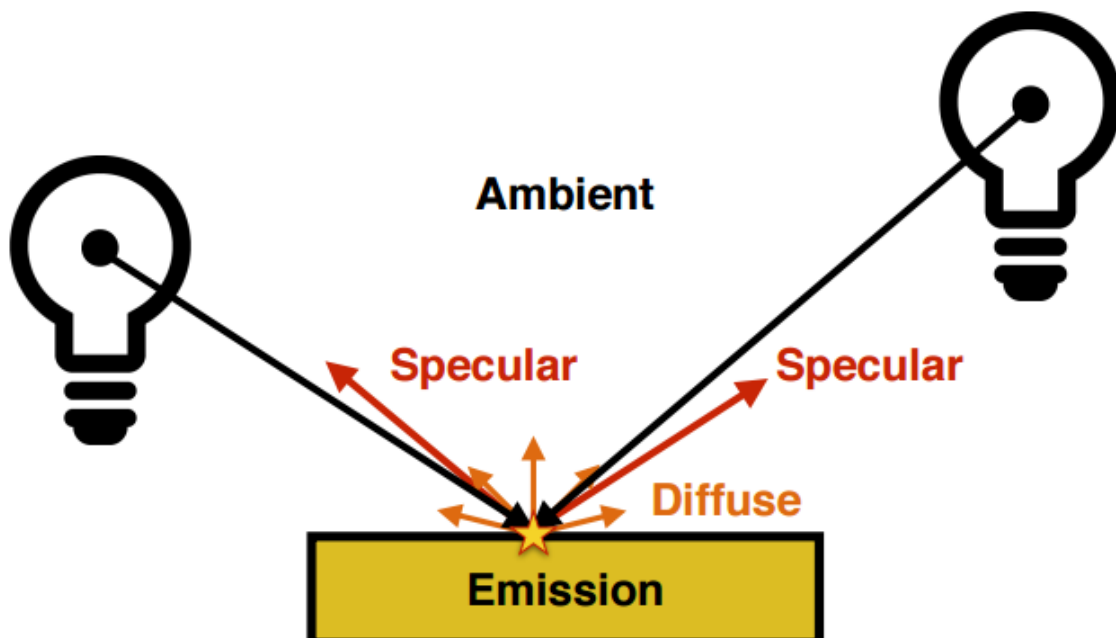
○ פונקציות נורשות

- `toString`.



מחלקה אבסטרקטית. כל אור (עם מקור ובלעדיו) צריך באופן בסיסי שיהיה לו את השדות הבסיסיים; צבע וחוזק. ואת המתודה המחזירה את חוזק האור.

- מאפיינים
 - צבע המייצג את האור ואת חוזקו
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי המקבל צבע המייצג את האור
- פונקציות get/set
 - `getIntensity` – מחזירה את החוזק של האור

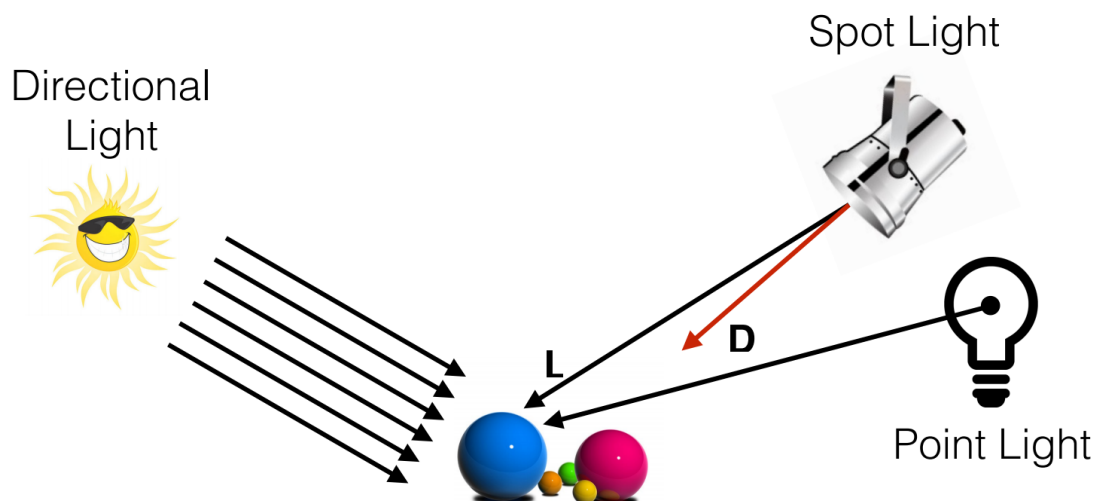


מקור אור – Light Source

ממשק יסוד לכל מקור אור במערכת המגדירה היטב שכל אור בעל מקור, למשל פנס, צריך לדעת להחזיר את מידת החוזק שלו ואת הווקטור המחבר בינו לנקודה. בלי ממשק מסוג זה לא נוכל להתממשק עם מקורות האור היטב.

פונקציות `get/set` ○

- `getIntensity` – מחזירה את החוזק של אור
- `getL` – מחזירה וקטור המחבר בין האור לנקודה



אור סביבתי – Ambient Light

יורשת מ-Light. אור הקיים במודל האור של פונג, אך לא באמת קיים בעולם המציאותי. אור סביבתי 'צובע' את כל הגאומטריות שבסצנה, במגוון צבעי הקשת.

○ מאפיינים

- מספר ממשי בין 0 ל-1: קבוע הקובע כמה האור חזק

○ בנאים

- בנאי ריק
- בנאי העתקה
- בנאי המקבל שלושה מספרים טבעיים המייצגים את הצבעים אדום, ירוק וכחול
- בנאי המקבל צבע שייצג את צבע האור

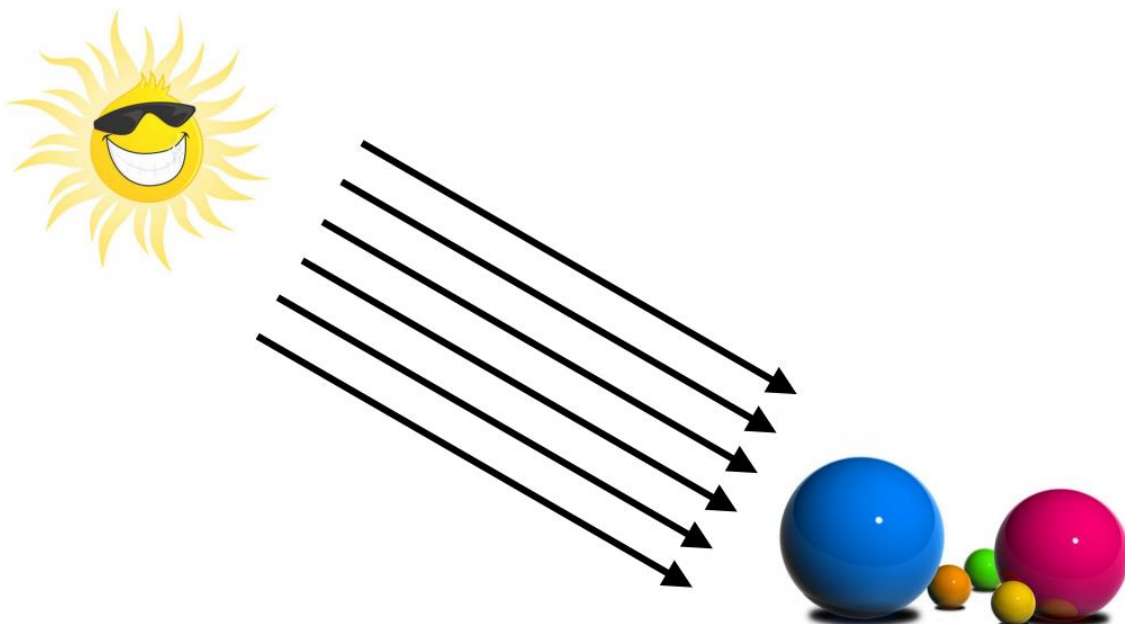
○ פונקציות get/set

- החזרה של הערך עצמו
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק

אור כיווני – Directional Light

יורשת מLight, מממש את LightSource. מקור אור 'רגיל' שקיים במודל האור של פונג ובחיים באמתיים. דוגמא למקור אור כיווני המוכר לנו ביותר הוא השמש.

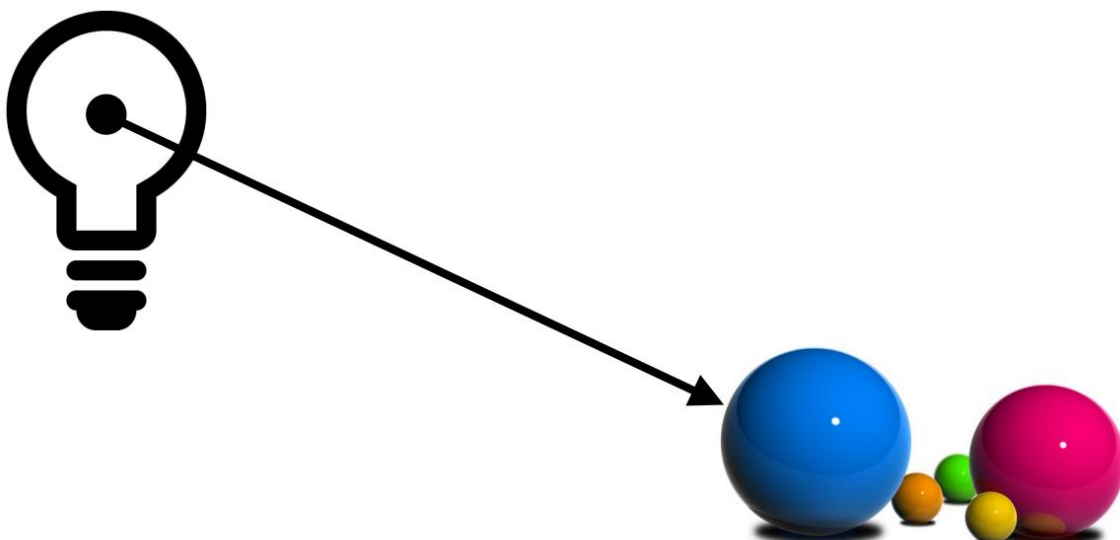
- מאפיינים
 - ווקטור כיוון המייצג את הכיוון אליו הפוטונים נעים
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל צבע המייצג את האור ווקטור המייצג את כיוונו
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות נורשות
 - getL – מחזירה ווקטור המחבר בין האור לנקודה



אור נקודתי – Point Light

יורשת מLight ומממשת את LightSource. לדוגמא מנורת להט. האור מתפזר באופן אחיד מחד גיסא, ונחלש ככול שנתרחק מהמקור מאידך.

- מאפיינים
 - נקודה – מייצגת את מיקום האור במרחב
 - 3 מספרים ממשיים - מייצגים קבועים להידלדלות האור ביחס למרחק באופן ריבועי, לינארי וקבוע.
- בנאים
 - בנאי ריק
 - בנאי העתקה
 - בנאי המקבל צבע, נקודה ו3 מספרים ממשיים
- פונקציות get/set
 - החזרה של הערך עצמו
 - השמה של מופע חדש עם ערך מועתק
- פונקציות נורשות
 - getIntensity – מחזירה את חוזק האור בנקודה מסוימת
 - GetL – מחזירה ווקטור המחבר בין האור לנקודה



אור זרקורים – Spot Light

יורשת מ PointLight. למשל פוינטר-לייזר. מקור אור זה בדומה ל"אור נקודתי" נחלש ככול שמתרחקים ממנו, ובניגוד לו אינו מתפזר כלל.

○ מאפיינים

- ווקטור המייצג את כיוון האור.

○ בנאים

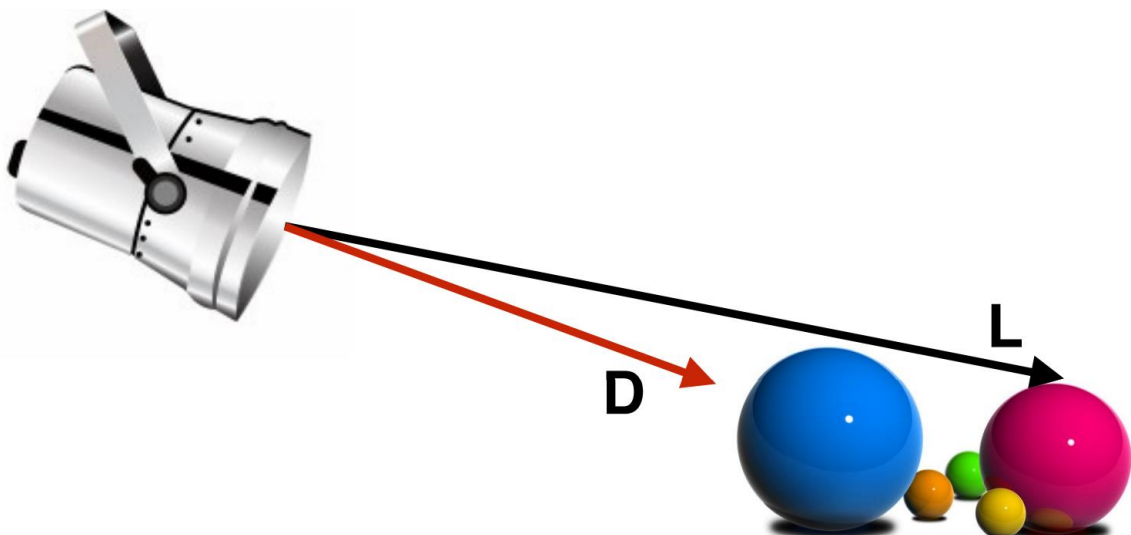
- בנאי ריק.
- בנאי העתקה.
- בנאי המקבל צבע, נקודה, וקטור ו 3 מספרים ממשיים.

○ פונקציות get/set

- החזרה של הערך עצמו.
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק.

○ פונקציות נורשות

- getIntensity – מחזירה את חוזק האור בנקודה מסוימת.



סצנה

Scene

סצנה – Scene

זירת הפשע, פה מתמטיקה קמה לתחיה. המחלקה מתארת את כל הגאומטריות דרך המצלמה כפי שהן נראות באמצעים דיגיטליים כגון מרקע טלוויזיה, דרך מסך.

○ מאפיינים

- מחרוזת - מייצגת את שם הסצנה
- צבע - מייצג את צבע הרקע
- AmbientLight - אור סביבתי הנוסף לכל הגאומטריות בסצנה
- רשימה של גיאומטריות - הגיאומטריות נוכחות בסצנה
- מצלמה ה"רואה" את הסצנה
- מספר ממשי המייצג את מרחק המסך מהמצלמה

○ בנאים

- בנאי ברירת מחדל
- בנאי העתקה
- בנאי המקבל מחרוזת, צבע, אור סביבתי, רשימת גיאומטריות, מצלמה ומספר ממשי

○ פונקציות get/set

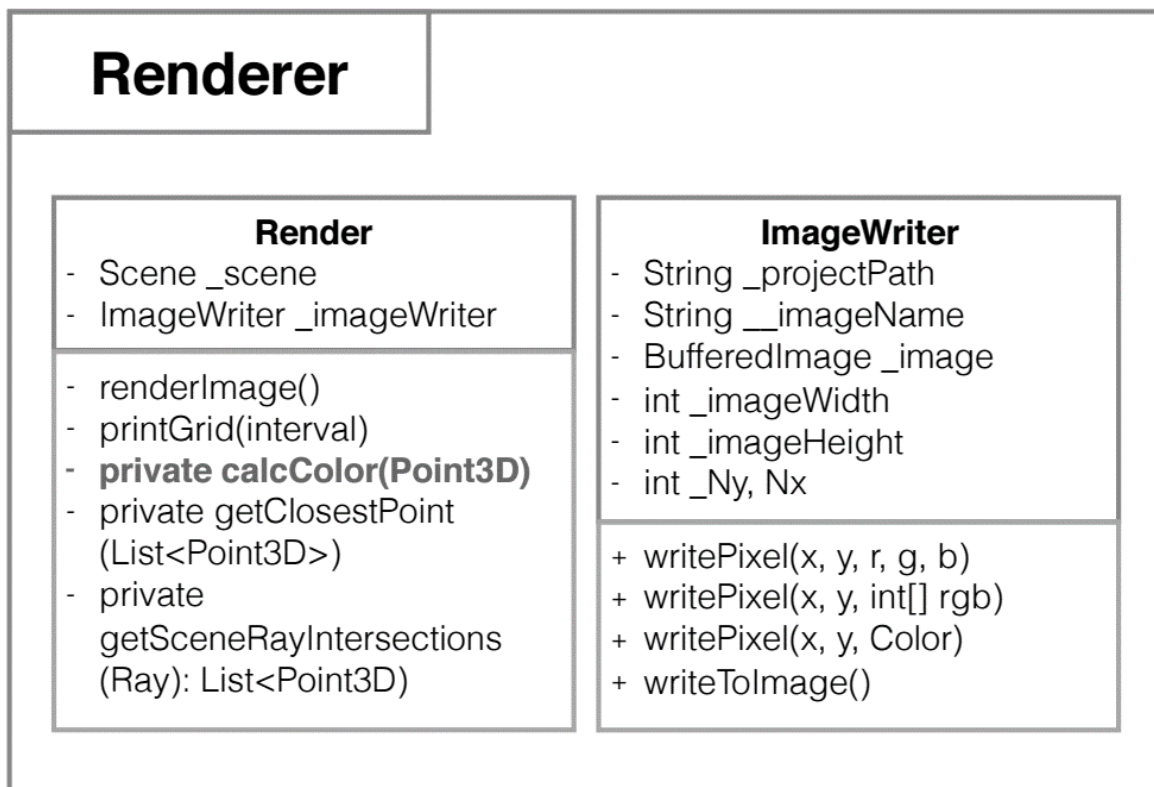
- החזרה של הערך עצמו
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק

○ פונקציות פעולות

- addGeometry – הוספת גיאומטריה לסצנה

מרנדר

Renderer



כותב התמונה – Image writer

עובד מאחורי הקלעים; הופך דמיון למציאות, מחשבה למעשה מן הכח אל הפועל. המחלקה עושה מה שהמחלקות האחרות היו חולמות לעשות. הופך מפת צבעים לתמונת jpg איכותית שתישמר לתמיד בדיסק הקשיח.

○ מאפיינים

- מספר - מייצג את כמות הפיקסלים בציר ה-X או לרוחב
- מספר - מייצג את כמות הפיקסלים בציר ה-Y או לגובה
- מספרים ממשי - מייצג את הרוחב הפיסי של התמונה
- מספר ממשי - מייצג את הגובה הפיזי של התמונה
- מחרוזת - מייצגת הקובעת את המיקום בדיסק שאליו התמונה תישמר
- BufferedImage – מייצג את התמונה השמורה בזיכרון, לפני השמירה לדיסק
- מחרוזת – מייצגת את שם קובץ התמונה

○ בנאים

- בנאי העתקה
- בנאי המקבל שם לתמונה, 2 מספרים למספרי פיקסלים ו2 מספרים לאורך

ורוחב

○ פונקציות get/set

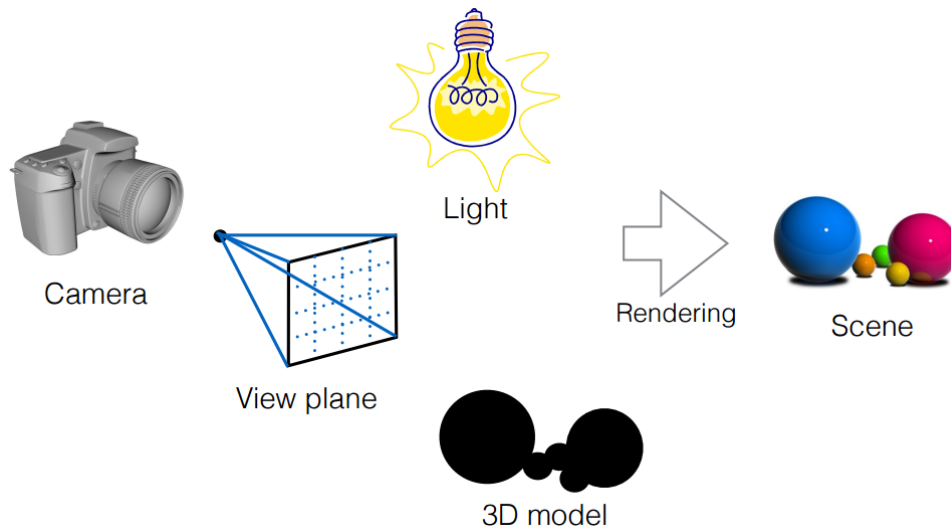
- החזרה של הערך עצמו
- השמה של מופע חדש עם ערך מועתק

○ פונקציות עיבוד תמונה

- כתיבת פיקסל - צובעת פיקסל בתמונה השמורה בזיכרון; 3 גרסאות:
 - 2 מספרים ממשיים המייצגים אינדקס x,y ו3 מספרים המייצגים צבעים RGB
 - 2 מספרים ממשיים המייצגים אינדקס x,y ומערך מספרים עם מספרי RGB
 - 2 מספרים ממשיים המייצגים אינדקס x,y וצבע
- כתיבת תמונה לדיסק

הפועל שדואג להפוך גאומטריה ומתמטיקה למפת צבעים. המחלקה עובד כמו שעון שוויצרי, אין שום פספוס של גאומטריות (אא"כ אתה שם את הצורות בתוך המצלמה ממש) ואין שום פספוס של קרני אור.

- מאפיינים
 - מספר - מייצג כמה פעמים נקיץ קרני אור ברקורסיה לצרכי השתקפות/שקיפות
 - סצנה - אותה יש לרנדר
 - כותב תמונה - יהפוך את הרינדור למציאות
- בנאים
 - בנאי המקבל כותב תמונה וסצנה
- פונקציות חישוב צבעים
 - הכפלת צבעים בקבוע - מספר שלילי הופך לשחור
 - חיבור 2 צבעים - לבן הוא הצבע הכי "גדול"
 - חיבור רשימה של צבעים - מבצע חיבור 2 צבעים הנ"ל עם אקומולטור
- פונקציות חישוב מודל פונג
 - פונקציה המחשבת אור ספקולרי
 - פונקציה המחשבת אור מפעפע diffusion
 - פונקציה רקורסיבית לחישוב צבעים המחברת את ה2 הנ"ל ואת ה3 הבאות
- פונקציות חישוב אור מתקדמות
 - פונקציה ליצירת קרן אור העוברת דרך גיאומטריה שקופה
 - פונקציה ליצירת קרן אור הקופצת מגיאומטריה משקפת
 - פונקציה בוליאנית הבודקת אם יש צל בנקודה
- פונקציות עזר
 - פונקציה המוצאת את הנקודה הכי קרובה למצלמה מתוך רשימה
 - פונקציה המוצאת את נקודת החיתוך הכי קרובה לנקודה מסוימת
 - פונקציה המדפיסה משבצות על התמונה
 - פונקציה המוצאת נקודות חיתוך של קרן עם הגאומטריות
- פונקציות עיבוד תמונה
 - פונקציה המפעילה את כל הפונקציות הנ"ל כדי לחשב את הערך של כל פיקסל
 - פונקציה המפעילה את כותב התמונות לשמירת תמונה פיזית
- פונקציות נורשות
 - toString
 - equals



משק משתמש

User Interface

ראשי - Main

מפעיל את החלון שדאגנו לסדר מאחורי הקלעים במחלקות הנוספות ובדף הFXML.

המחלקה חסרת כל פונקציונליות, ויכולה רק להריץ את החלון.

פונקציות

- Main – פונקציה ראשית.
- Start – מאתחל פרטים קטנים כגון גודל החלון/ כותרת/ מאיפה קוראים מקורות וכד'

בקרי - Controller

מפעיל את הפונקציונליות שמאחורי העיצוב. מעביר את המידע לשכבות שמבצעות את הרינדור בפועל. כל השדות שבמחלקה מסונכרנות עם קובץ הFXML.

מאפיינים

- - כפתור יציאה – לא ממומש בFXML
 - כפתור פתיחת הקובץ המרונדר
 - כפתור רינדור חיה
 - כפתור רינדור ספארות (Sphere)
 - כפתור רינדור כדורים עם מראות תוך שימוש ברקורסיה
 - 3 כפתורי רדיו, לבחירת סוג האור (נקודתי, כיווני וזרקורים)
 - 3 סליידרים, עבור מערכת צירים xyz (מיועד לאור כיווני וזרקורים בלבד)
 - סליידר פקטור עבור אור נקודתי וזרקורים
 - שדה צבע
 - שדה רזולוציה המיועד לגודל התמונה
 - שדה שם הקובץ
 - תמונת תצוגה מקדימה

אתחול

- - אתחול צבע כלבן

פונקציות

- - המרת צבע ממחלקת javafx.scene.paint.Color בה נעשה שימוש בgui לאובייקט מסוג java.awt.Color בו נעשה שימוש בפרויקט
 - הגדרת צבע – event כאשר בוחרים צבע
 - יציאה – event כאשר לוחצים על כפתור יציאה
 - פתיחת קובץ – event כאשר לוחצים על כפתור פתח קובץ
 - טעות awSnap – event כאשר הרינדור לא הצליח
 - חיה – event כאשר לוחצים על כפתור רינדור חיה
 - ספארה – event כאשר לוחצים על כפתור רינדור ספארה
 - מחולל אורות – יוצר אור מקלט המשתמש
 - גודל תמונה – מחזיר עפ"י קלט משתמש
 - מעדכן תמונה – מעדכן את התמונה המופיעה בimage preview.

עיצוב הממשק. חסר כל פונקציונליות מאחר שכתוב בשפת עיצוב ולא בשפת תכנות. מצורפת התוצאה הסופית.

