

גרפיקה ממוחשבת



הרצאה מס' 1 - מבוא

אדמ'ן'סטריוויה 1

□מרצה ד"ר גיא לשם leshemg@cs.bgu.ac.il

□אתר הקורס - האתר הרגיל של קורסים במכללת
אשקלון

□האתר יכיל שקפים של הרצאות ותירגולים

■יפורסמו באתר הקורס מוקדם - ככל האפשר.

■שקפי ההרצאות מאורגנים לפי נושאים – במידת האפשר.

■תרגילי בית x 4.

אדמ'ן'סטריוויה 2

▶ הרכב הציון

90% - מבחן סוף סמסטר

10% - תרגילי בית

▶ ציון הקורס יחושב לפי הכלל הנ"ל בתנאי שציון המבחן יהיה עובר (60).

▶ במידה וציון הבחינה נכשל - ציון הקורס יהיה ציון הבחינה.

תוכנית לימודים

שבוע	הרצאה
1	הרצאת מבוא
2	טרנספורמציות גיאומטריות דו ממדיות
3	– טרנספורמציות גיאומטריות תלת ממדיות
4	הצגת העולם התלת ממדי על המסך הדו-ממדי 1
5	הצגת העולם התלת ממדי על המסך הדו-ממדי 2
6	הצגת העולם התלת ממדי על המסך הדו-ממדי 3
7	סריקות המרה (scan conversion) 1

תוכנית לימודים

שבוע	הרצאה
8	סריקות המרה (scan conversion) 2
9	החלקת עקומות (Antialiasing)
10	סריקת המרה למצולע (Polygon scan conversion)
11	זיהוי משטחים גלויים
12	הטלות (Ray Tracing)
13	מיפוי מרקמים ותצורות
14	דוגמאות וסיכום

מהי גרפיקה ממוחשבת ?

- ▶ גרפיקה ממוחשבת פירושה בדרך כלל יצירה, אחסון, עיבוד ומניפולציה של מודלים ותמונות
- ▶ מודלים כאלה מגיעים ממגוון רחב של תחומים הכוללים מבנים פיזיים, ביולוגיים, מתמטיים, אמנותיים ומושגיים מופשטים

דוגמא לאנימציה מאת ויליאם לת'ם, הוצגה ב- SIGGRAPH 1992.
ויליאם יוצר את יצירותיו באמצעות כללים השולטים בדפוסי צורות טבעיות.



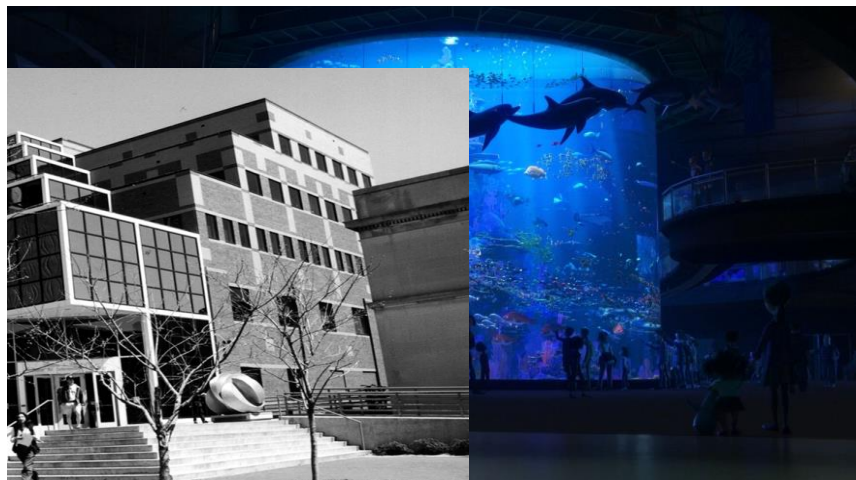
מהי גרפיקה ממוחשבת אינטראקטיבית ?

- ▶ המשתמש שולט בתוכן, במבנה ובמראה של אובייקטים ותמונותיהם המוצגות באמצעות משוב חזותי מהיר
- ▶ רכיבים בסיסיים של מערכת גרפיקה אינטראקטיבית
 - ▶ קלט (למשל, עכבר, עט, רב מגע, אצבעות באוויר ...)
 - ▶ עיבוד (ואחסון של הייצוג / מודל הבסיסי)
 - ▶ תצוגה / פלט (למשל, מסך, מדפסת מבוססת נייר, מקליט וידאו ...)
- ▶ מערכת הגרפיקה האינטראקטיבית הראשונה באמת, Sketchpad, היתה המערכת החלוצה שפותחה על ידי איוון סאת'רלנד בשנת 1963. עבודת הגמר, Sketchpad, מערכת תקשורת גרפית אדם-מכונה
- ▶ נעשה שימוש ב- במחשב "מיינפריים TX-2" במעבדת MIT לינקולן



Note CRT monitor, light pen, and function-key panels – the "organ console" showing bi-manual operation

<http://youtu.be/546ADZFMBT8>



Still from *Finding Dory*

מבט ממעוף הציפור של גרפיקה

▶ גרפיקה ממוחשבת כוללת יישומים בזמן אמת \ יישומים אינטראקטיביים ...

▶ משחקי וידאו

▶ ויישומי אצווה (batch) \ יישומים לא מקוונים (offline)

▶ עיבוד אפקטים מיוחדים לסרטים

▶ ייצוג לסרט פוטו-רליסטי הוא מטרה מתמשכת

▶ לטבע יש כוח מחשוב יותר מאיתנו

▶ תמונות --- מערכים של פיקסלים צבעוניים, לעתים קרובות מתמונות

▶ דוגמה: Adobe Photoshop

▶ מאמצים רבים בעבודה מבוססת תמונה מוציאים בסופו של דבר את השאלה "מה הפיקסל הזה מייצג?"
עריכת תמונות להסרת דברים לא רצויים דורשת גילוי של "פיקסלים בקצה" למשל

▶ לייצוג העולם אנו משתמשים

▶ צורות: גיאומטריה (א לה אוקליד) או גיאומטריה יותר (א לה גאוס) או לפעמים דברים אחרים

▶ פיזור אור: קירובים לפונקציות בעלות ערך אמיתי

▶ פיזיקה: גישות שונות

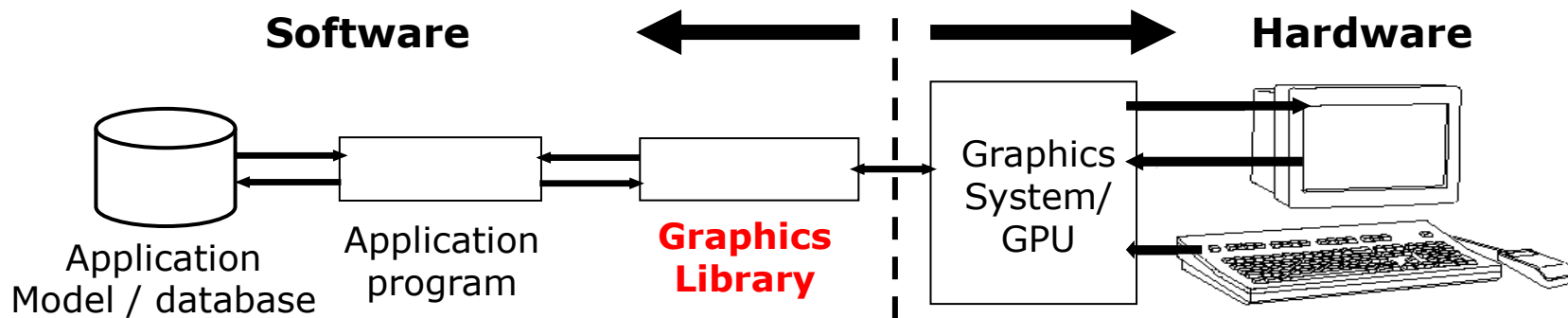
▶ היררכיות ומופעים מרובים כדי לחסוך מאמץ

▶ עיבוד: המרת מודלים גיאומטריים ומאפייני שטח לתמונות (בדרך כלל)

▶ פגיעה באיכות / זמן חמור



מסגרת רעיונית לגרפיקה אינטראקטיבית



▶ ספריית הגרפיקה היא מתווך (**intermediary**) בין יישום למערכת גרפיקה

▶ בעיקר תפקיד של מערכת הפעלה: חיבור נתונים בשתי תוכניות שונות!

▶ תוכנית היישומים ממפה אובייקטים של יישומים לתצוגות (תמונות) של אותם אובייקטים על ידי קריאה לספריית הגרפיקה. מודל היישום עשוי להכיל הרבה נתונים לא גרפיים (למשל, מאפייני אובייקט שאינם גיאומטריים)

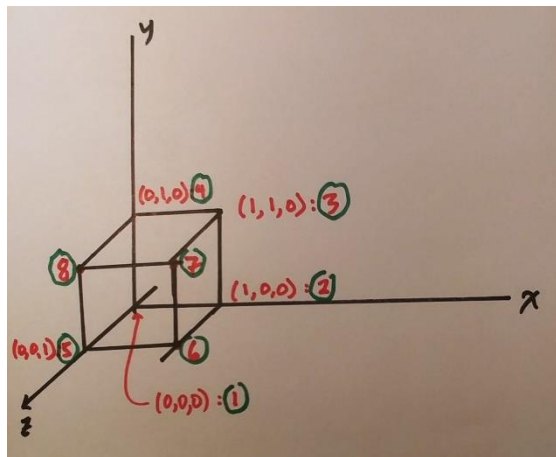
▶ אינטראקציה של משתמשים מביאה לשינוי בתמונה ו\או במודל

המשך השיעור: בואו נעשה תמונה

- ▶ אין "כרטיס גרפי, ספרייה וכו'" – אנחנו חוזרים לשנת 1970!
- ▶ פלט שחור-לבן
- ▶ מיוצג על ידי מערך של $0/1$: -1 – לבן, -0 – לשחור.
- ▶ נזדקק למעט אלגברה (ונעשה זאת) והנכונות לא להיות יעילה

שלב 1: "מידול" לצורה שלנו

- ▶ נבצע ייצוג גיאומטרי של הקובייה
- ▶ הייצוג כולל קודקודים וקשתות.
- ▶ קובייה בסיסית: פינה אחת ב $(0,0,0)$, אחת ב $(1,1,1)$
- ▶ שמונה קודקודים, שכתרתם 1 ... 8
- ▶ מכיוון שאינדקסי Matlab מתחילים ב-1



מבוא מהיר ל-Matlab (1)

- ▶ Variables may represent numbers, lists of numbers, or arrays of numbers

- ▶ `A = [4 1 5];`

- ▶ `B = [3 0; 2 5];`

- ▶ Loops:

```
for i = A
```

```
    i*i
```

```
end
```

Prints out

16

1

25

Semicolons suppress output.

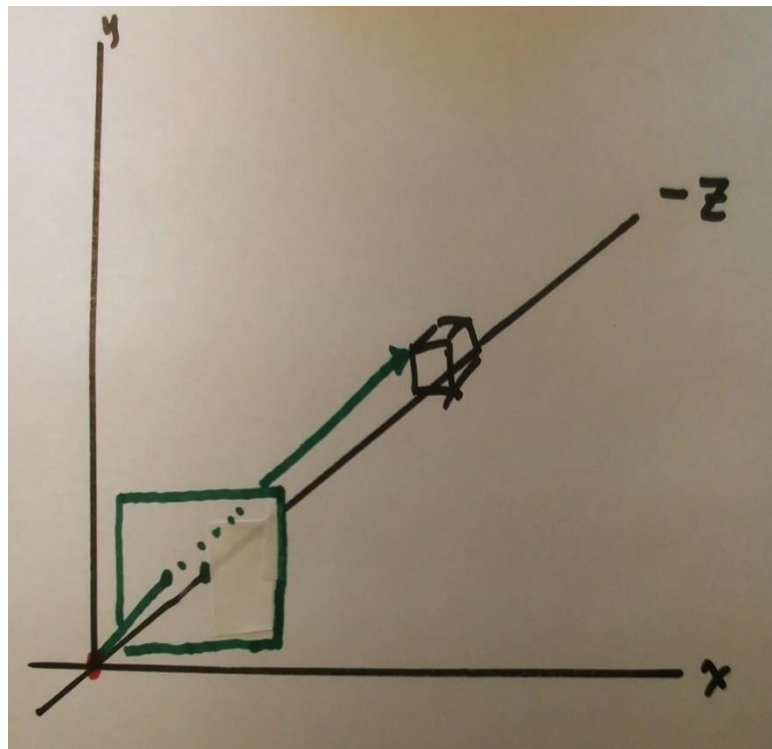
מבוא מהיר ל-Matlab (2)

- ▶ `3:8` is shorthand for `[3 4 5 6 7 8]`
- ▶ `A = [1 4 5 7]; B = A(2:4);`
- ▶ `B` is now `[4 5 7]`
- ▶ Arrays use two subscripts. If `B` is a `5 x 7` array, then
- ▶ `B[2:4, 1]` is a `3 x 1` array (rows 2,3,4, column 1)
- ▶ `B[2:4, :]` is a `3 x 7` array (a solo colon means “everything”)
- ▶ `plot(list-of-x-values, list-of-y-values, color-spec)` plots in 2D
- ▶ `plot3(..., list-of-z-values, ...)` plots in 3D.
- ▶ `xlim, ylim`: set limits of display area

דבר ראשון: צורה לצייר

▶ אנו נרצה להסתכל על זה מהמקור (הופך את המתמטיקה לפשוטה יותר), ולהשתמש בקואורדינטות xy , אז בוא נעביר אותה לאורך ציר z : הוסף קבוע, נניח -3 , לכל קואורדינטות z . כעת כל הקואורדינטות z הן -3 או -2 .

▶ למה שלילי z ? כך שלקואורדינטות xy תהיה כיוון נכון.



```

close all; clear all; clc;
%%Generate 3D
main();
function main()
    LL = [1 3 5]; % lower left corner
    a = 2; % side length
    fc = [0.8 0 0.5];
    ft = 0.5; %
    bc = [1 1 1]; % background color
    ec = [0.5 0 0]; % edge corner
    lw = 1; % edge line width
    drawcube(LL, a,fc, ft, bc, ec, lw);
    axis on;
    xlabel('X');%, 'FontSize',14);
    ylabel('Y');%, 'FontSize',14);
    zlabel('Z');%, 'FontSize',14);
end

```

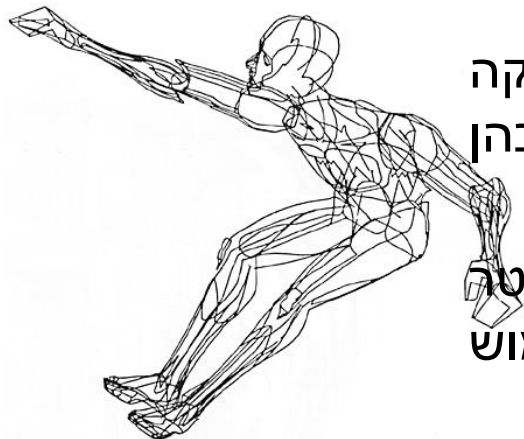
בואו ניצור את הצורה הזו במטלב

```

function drawcube(LL, a, fc, ft, bc, ec, lw)
LLx=LL(1); LLy=LL(2); LLz=LL(3);
vertex_matrix=[LLx,LLy,LLz;...
    LLx,LLy+a,LLz;...
    LLx-a,LLy+a,LLz;...
    LLx-a,LLy,LLz;...
    LLx,LLy,LLz+a;...
    LLx,LLy+a,LLz+a;...
    LLx-a,LLy+a,LLz+a;...
    LLx-a,LLy,LLz+a;];
faces_matrix=[1 2 3 4;...
2 3 7 6;...
3 7 8 4;...
4 8 5 1;...
1 2 6 5;...
5 6 7 8];
figure('Color',bc);
patch('Vertices',vertex_matrix,'Faces',faces_matrix,...
    'FaceColor',fc,'FaceAlpha',ft,...
    'EdgeColor',ec,'LineWidth',lw)
view(3);
axis off;
grid on;
end

```


מהי גרפיקה ממוחשבת (רקע היסטורי) ?



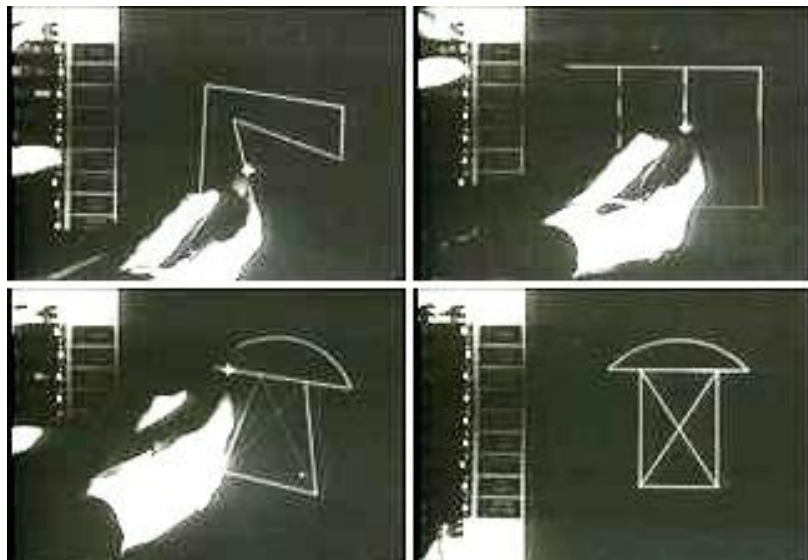
- ▶ ויליאם פטר (William Fetter) טבע את המונח "גרפיקה ממוחשבת" בשנת 1960 לתיאור שיטות עיצוב חדשות בהן חיפש בבואינג לצורך ארגונומיה בתא הטייס.
- ▶ הוא יצר סדרה של תמונות משוחזרות נרחבות על "פלוטר עטים (pen plotter)" החוקר את עיצוב תא הטייס, תוך שימוש במודל תלת ממדי של גוף האדם.

"אולי הדרך הטובה ביותר להגדיר גרפיקה ממוחשבת היא לברר מה זה לא. זו לא מכונה. זה לא מחשב, וגם לא קבוצה של תוכנות מחשב. זה לא הידע של מעצב גרפי, מתכנת, סופר, מומחה לקולנוע או מומחה לשעתוק. גרפיקה ממוחשבת היא כל אלה - טכנולוגיה מנוהלת ומתועדת במודע המכוונת לתקשר מידע בצורה מדויקת ותיאורית."

גרפיקה ממוחשבת, מאת ויליאם א' פטר, 1966

מהי גרפיקה מחושבת אינטראקטיבית ?

▶ כמעט כל האלמנטים המרכזיים של מערכת הגרפיקה האינטראקטיבית באים לידי ביטוי בפסקה הראשונה של תזת הדוקטורט של סאת'רלנד משנת 1963.



- לדוגמא, מערכת *Sketchpad* משתמשת בציור כמדיום תקשורת חדשני למחשב. המערכת מכילה תוכניות קלט, פלט וחישוב המאפשרות לה לפרש מידע המצויר ישירות על צג המחשב.
- מערכת *Sketchpad* הראתה את התועלת הרבה ביותר ככלי עזר להבנת תהליכים, כגון תנועת קישורים, שניתן לתאר באמצעות תמונות.
- מערכת *Sketchpad* גם מקלה על ציור רישומים חוזרים או מדויקים ביותר ושינוי רישומים שצוירו איתה בעבר

יישומים גרפיים

שימוש יומיומי

מערכת ההפעלה של מיקרוסופט משתמשת בגרפיקה

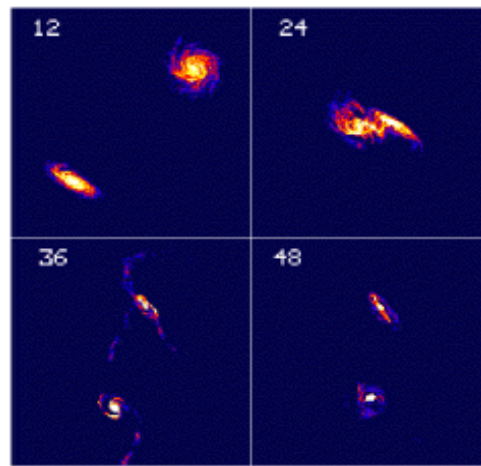
ויזואליזציות גרפיות ודיפוי באגים

דמיינו מערכות תוכנה מורכבות



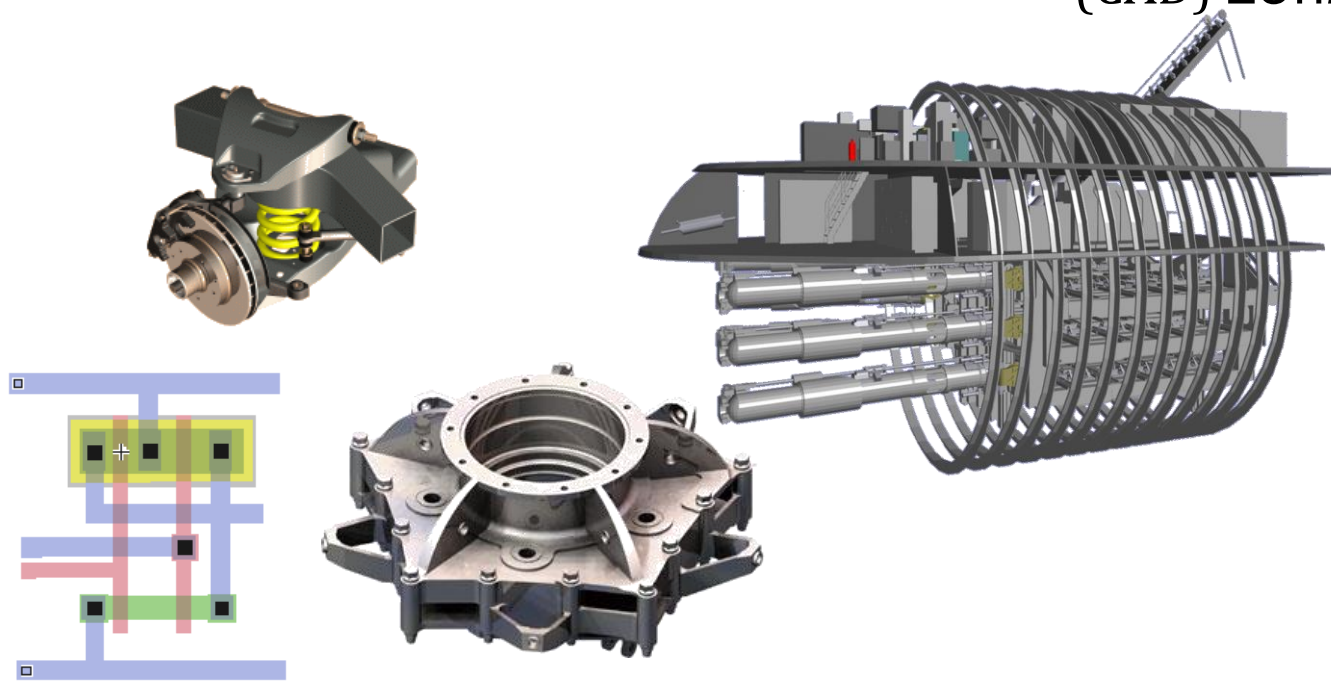
דוגמאות יישומים גרפיים (1/5)

ויזואליזציה מדעית ►



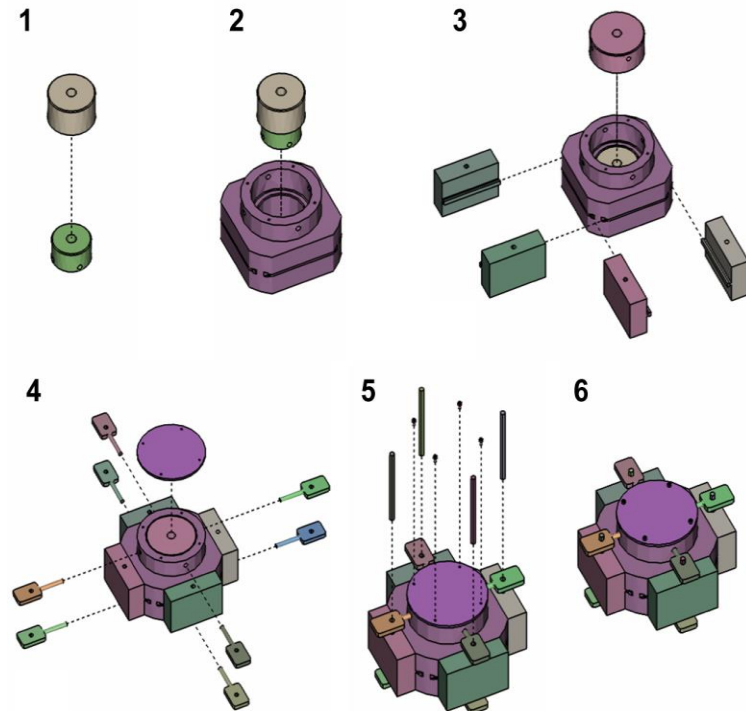
דוגמאות יישומים גרפיים (2/5)

▶ תכנון בעזרת מחשב (CAD)



דוגמאות יישומים גרפיים (3/5)

אימון\תירגול ►



Designing Effective Step-By-Step Assembly Instructions (Maneesh Agrawala et. al)

דוגמאות יישומים גרפיים (4/5)

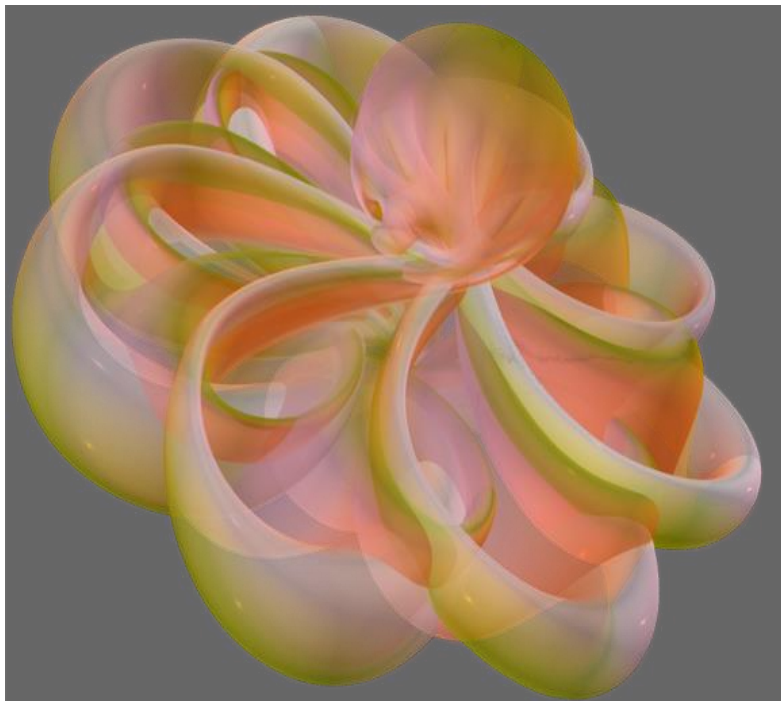
משחקים ►



Polyphony Digital: Gran Turismo 3, A Spec

דוגמאות יישומים גרפיים (5/5)

חינוך השכלה ▶



Outside In (*Geometry Center, University of Minnesota*)

הפעלת גרפיקה חיושובית מודרנית (1/5)



▶ מהפכת חומרה

▶ חוק מור: כל 12-18 חודשים כוח המחשב משתפר בגורם 2 במחיר / ביצועים ככל שהגודל מתכווץ

▶ המעבדים החדשים ביותר הם 64 סיביות עם 4, 8, 16, אפילו עד 56 ליבות.

▶ Intel Coffee Lake - מעבד צרכני עם עד 8 ליבות, 16 חוטים, ושבב גרפי מאופיין המובנה במעבד.

▶ התקדמות משמעותית בשבבי גרפיקה וכל 6 חודשים רואים חידושים לעומת המעבדים למטרות כלליות.

▶ NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti... שמכיל 4352 ליבות, זיכרון 11 GB ויותר מפלס כוח עיבוד בשבב יחיד

NVIDIA statistics from <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/graphics-cards/rtx-2080-ti/>

הפעלת גרפיקה חיושובית מודרנית (2/5)

- ▶ Graphic subsystems
 - ▶ Offloads graphics processing from CPU to chip designed for doing graphics operations quickly
 - ▶ NVIDIA GeForce™, AMD Vega™, and Intel HD and Iris Pro Graphics
 - ▶ GPUs originally designed to handle special-purpose graphics computations
 - ▶ Increasingly, GPUs used to parallelize other types of computation (known as **GPGPU**, or General-Purpose Computing on the Graphics Processing Unit)
- ▶ Hardware show and tell: NVIDIA GeForce GTX 580 Ti (2010)
 - ▶ 512 cores, 772 MHz clock, 1.5GB memory, 49.4 billion pixels/second fill rate
- ▶ Department machines (row 6): NVIDIA GeForce GTX 970 (2014) – still VR capable
 - ▶ 1664 cores, 1.05 GHz clock, 4GB memory, 75 billion pixels/second fill rate
- ▶ Department machines: NVIDIA GeForce GTX 460 (2010) – fine for 123 assgns.
 - ▶ 336 cores, 1.35 GHz clock, 1GB memory, 37.8 billion pixels/second fill rate

הפעלת גרפיקה חישובית מודרנית (3/5)

▶ התקני קלט

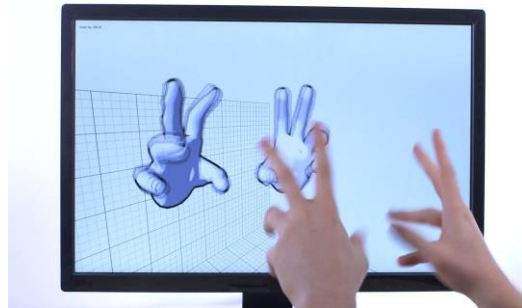
▶ עכבר (Mouse), טאבלט (tablet), עט (stylus), רב מגע (multi-touch), משוב בכוח (force feedback) ובקרי משחק אחרים (למשל, JoyCon ל-Nintendo Switch סורק, מצלמה דיגיטלית (תמונות, ראיית מחשב) וכו'.

▶ הגוף שלנו כמכשיר אינטראקציה (<http://youtu.be/zXghYjh6Gro>)

Xbox Kinect:



Leap Motion:



הפעלת גרפיקה חיושית מודרנית (4/5)



Apple iPhone



Android Phones



Tablets



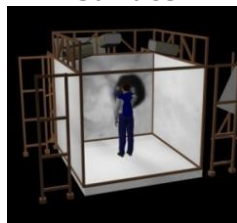
Microsoft's first Surface



Apple Watch



Android Wear



Brown's old Cave



Microsoft Hololens



Vive Focus



Oculus Rift



Google Cardboard

גורמי צורה רבים (Many form factors):

- ▶ Smartphones/laptops/desktops/tablets
- ▶ Smart watches
- ▶ Head-mounted displays (HMDs)
 - ▶ [HTC Vive](#)
- ▶ Augmented Reality (מציאות רבודה)
- ▶ Virtual Reality (מציאות וירטואלית)
 - ▶ AR vs VR: Different experiences!

מציאות רבודה (Augmented Reality)

▶ מציאות רבודה נגישה בקלות באמצעות סמארטפונים



▶ Advanced AR through Microsoft HoloLens 2

▶ <https://youtu.be/tYPlodStLTc?t=16>

▶ [New Trailer](#)

▶ [Live Demo](#)



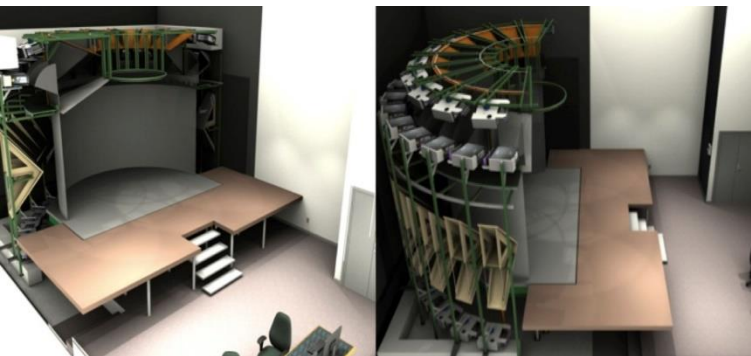
מערת עיצוב מחדש

▶ מערה ישנה (Old Cave):

- ▶ 4 מקרנים ברזולוציה 1024×786 על קירות $8' \times 8'$ -8-
10 פיקסלים לאינץ')
- ▶ רזולוציה ובהירות נמוכה מדי עבור יישומים רבים,
והחמירה (הבהירות, הניגודיות הידרדרו עם הזמן)

▶ מערה חדשה (New Cave):

- ▶ 69 מקרנים למסך מעוגל גלילי ברדיוס $8'$, רצפה, תקרה
- ▶ 140 מיליון פיקסלים
- ▶ מופעל על ידי אשכול GPU ~ 69 ג'יגה-פיט
- ▶ ללא זוויות ישרות, עד 40 פיקסלים לאינץ' (לא יכול
לראות פיקסלים בודדים במרחק צפייה רגיל)



Brown's new Cave, the YURT

הפעלת גרפיקה חישובית מודרנית (5/5)

- ▶ שיפורי תוכנה (Software Improvements)
 - ▶ אלגוריתמים ומבני נתונים (Algorithms and data structures)
 - ▶ מידול של חומרים (Modeling of materials)
 - ▶ עיבוד תופעות טבע (Rendering of natural phenomena)
 - ▶ "מבני נתוני ל תאוצה" למעקב אחר קרניים ומעבירים אחרים (Acceleration data) (structures" for ray tracing and other renderers
 - ▶ מקביליות (Parallelization)
 - ▶ רוב הפעולות מקבילות בצורה מביכה: חישוב הערך של פיקסל אחד לרוב אינו תלוי בפיקסלים אחרים (Most operations are embarrassingly parallel: calculating value of one pixel) (is often independent of other pixels
 - ▶ מחשוב מבוזר וענן (Distributed and Cloud computing)
 - ▶ שלח פעולות לענן, קבל תוצאות בחזרה, לא אכפת לך איך

פורמט גרפיקה

- ▶ רוב הפורמטים של הגרפיקה מופיעים בשני אופנים - **וקטור** או **רשת (Raster)**.
- ▶ כאשר מחשב מציג גרפיקה על המסך, היא מופיעה כמערך פיקסלים מלבניים או רכיבי תמונה. וזה הרעיון מאחורי גרפיקת **Raster**. צורות מרקם וכו', מחושבים כתצורת (קונפיגורציית) פיקסלים. תצורה זו נשמרת בפורמט קובץ גרפיקה **Raster**.
- ▶ לעומת זאת, האופן שבו תמונות **וקטור** אלו מוגדרות מאפשרות לנו לאמוד ולשחזר אותם בצורה מדויקת בהרבה מאשר בפורמט **Raster**.
- ▶ החיסרון שבגרפיקת **וקטור** הוא שלא ניתן לתאר באמצעותה תמונות, שמקורן ממצלמה, בצורה טובה ופורמט זה טוב יותר לשרטוטים.

חומרה לתצוגה גרפית

רשת (רסטר Raster)

(טלוויזיה, מפת סיביות, פיקסמפה) המשמש
בתצוגות ומדפסות לייזר

- ▶ רסטר מונע על ידי מערך פיקסלים (ללא סמנטיקה, צורת הייצוג הנמוכה ביותר)
- ▶ שים לב ל-"jaggies" (שגיאות כינוס) עקב דגימה נפרדת של פרימיטיבים רציפים



Outline



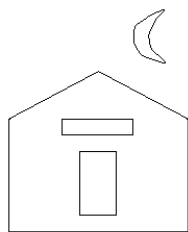
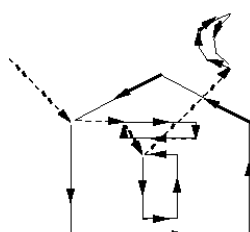
Filled

סוג של רזולוציה
מזויפת שאמורה
להחליק את התמונה
על ידי החלקת זוויות
מחודדות של
פיקסלים מרובעים
שנקראים Jaggies

וקטור

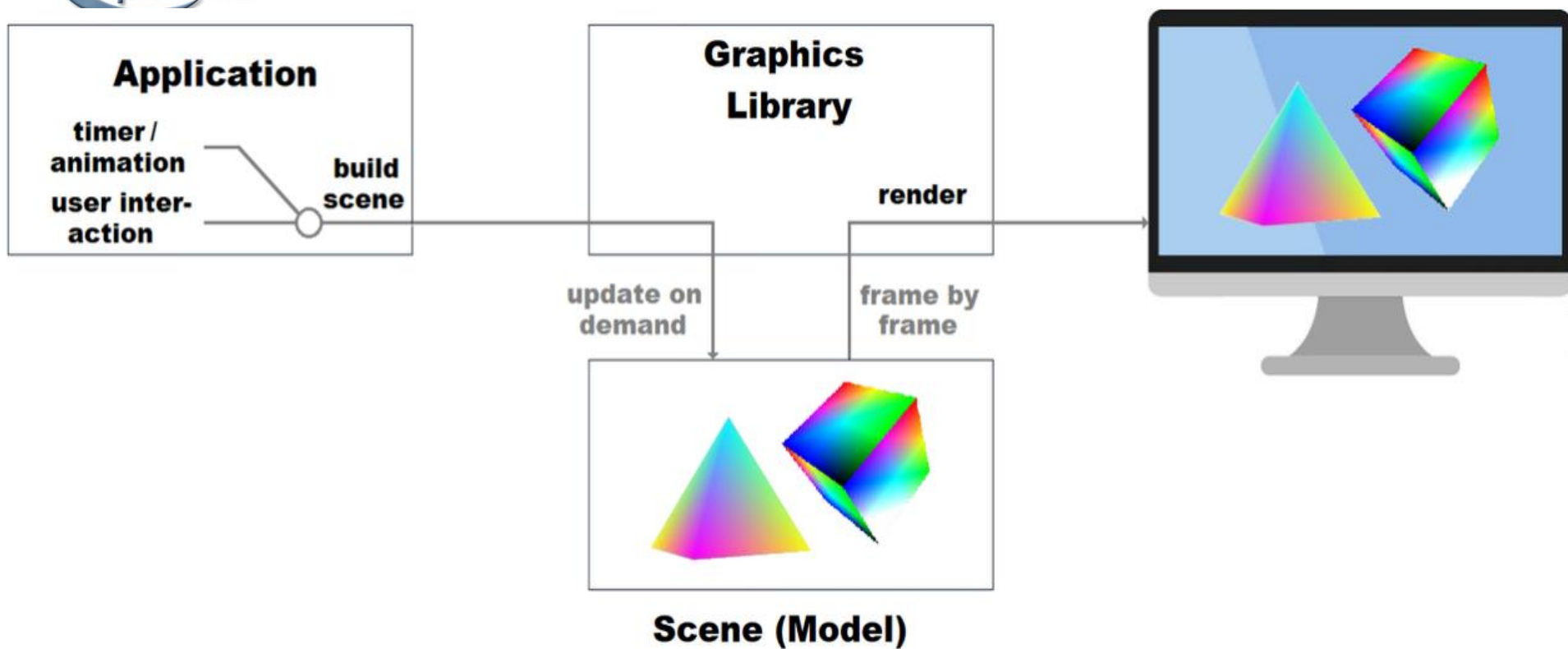
(calligraphic, stroke, random-scan)

- ▶ מונע על ידי פקודות תצוגה
(`move (x, y), char("A") , line(x, y)...`)
- ▶ שורד כ-"גרפיקה וקטורית הניתנת להרחבה"

Ideal
DrawingVector
Drawing



ספריות גרפיות (Graphics Library)





3D scene

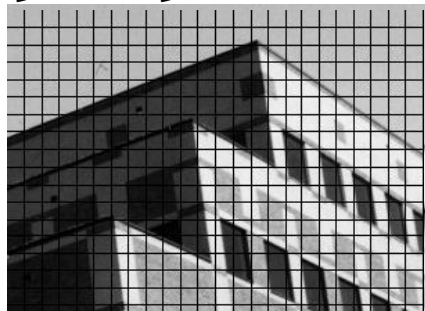
דגימת תמונה (Sampling an Image)

▶ בואו נעשה דוגמאות של בניין

▶ ערך הצבע נמדד בכל נקודת רשת ומשמש לצביעת ריבוע רשת מתאים



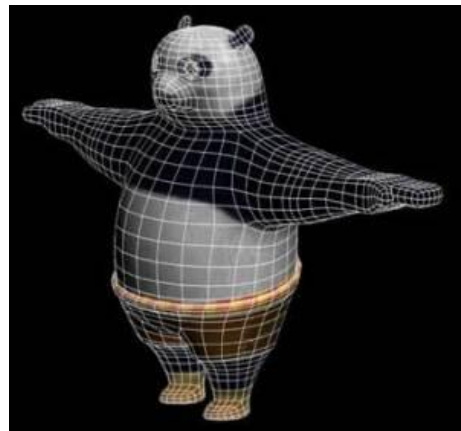
0 = white, 5 = gray, 10 = black



▶ שיטת דגימה גולמית ושחזור תמונות יוצרת תמונה חסומה

הבחנות בין יישומים: שתי פרדיגמות בסיסיות

גרפיקה מבוססת דוגמה (Sample-based graphics) לעומת גרפיקה
מבוססת גיאומטריה (Geometry-based graphics)



גרפיקה מבוססת דוגמה (Sample-based Graphics) (1/3)

▶ **גרפיקה מבוססת דוגמה:** דוגמאות בדידות (דיסקרטיות) משמשות לתיאור מידע חזותי

▶ ניתן ליצור פיקסלים על ידי דיגיטציה של תמונות, באמצעות תוכנית "ציור" מבוססת דוגמה וכו'.

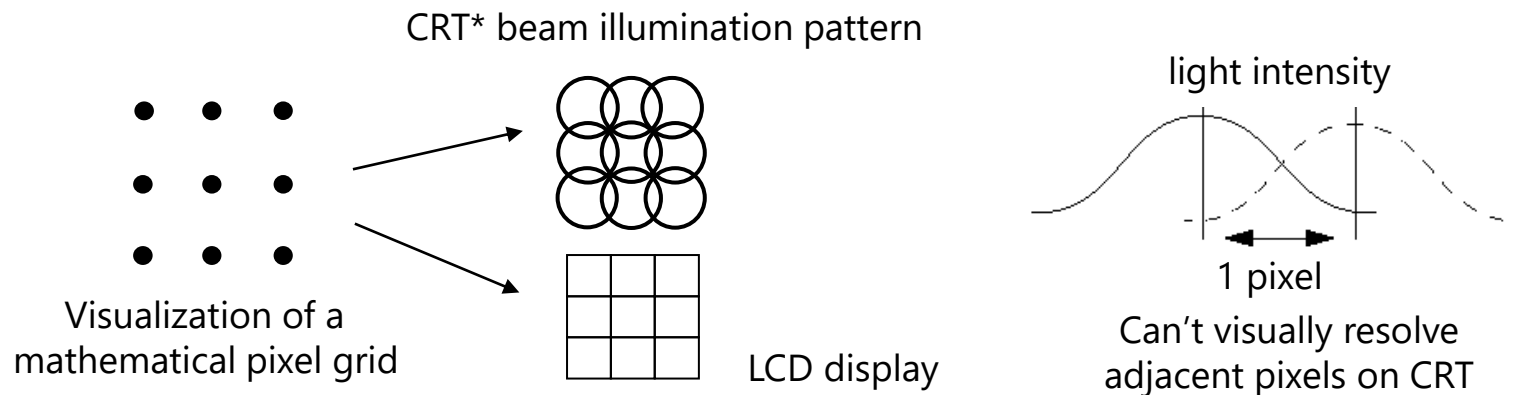
▶ לעתים קרובות נדגם היבט כלשהו של העולם הפיזי לצורך הדמיה, למשל, טמפרטורה ברחבי ארה"ב

▶ תוכניות לדוגמא: Adobe Photoshop™, GIMP™, Adobe AfterEffects™ (שיצאו מ-CS123/CS224!)



גרפיקה מבוססת דוגמה (2/3) (Sample-based Graphics)

- ▶ **פיקסלים** הם מיקומי נקודה הקשורים עם ערכי דוגמה, בדרך כלל של עוצמות אור/צבע, שקיפות ומידע בקרה אחר.
- ▶ כאשר אנו מדגמים תמונה, אנו מדגימים את מיקום הנקודה לאורך האות הרציף ואיננו יכולים להתייחס לפיקסלים כאל עיגולים קטנים או ריבועים, אם כי הם עשויים להיות מוצגים ככאלה



גרפיקה מבוססת דוגמה (Sample-based Graphics) (3/3)

▶ דוגמאות שנוצרו ישירות בתכנית מסוג צבע (Paint-type program), או על ידי דגימה של חומרים חזותיים רציפים (אנלוגיים) (עוצמת אור/צבע שנמדד במרווחי זמן קבועים) עם מכשירים רבים הכוללים:



▶ סורקים מיוחדים למשל <https://luminous-landscape.com/drum-scans/>

▶ מצלמות סטילס ותנועה דיגיטליות (וידאו)

▶ ניתן להזין ערכים לדוגמא גם מספרית (למשל, עם מספרים ממערך הנתונים המחושב)

▶ ברגע שתמונה מוגדרת כמערך פיקסל, ניתן לתפעל אותה

▶ **עריכת תמונות (Image editing):** שינויים שנעשו על ידי המשתמש, כגון קטעי חיתוך והדבקה, כלים מסוג מברשת ועיבוד אזורי נבחרים

▶ **עיבוד תמונה (Image processing):** פעולות אלגוריתמיות המתבצעות בתמונה (או בחלק שנבחר מראש בתמונה) ללא התערבות המשתמש. טשטוש, השחזה, זיהוי קצה, איזון צבעים, סיבוב, עיוות. אלו הם תהליכים חזיתיים לראיית מחשב, וצילום חישובי

מה היתרון (What's the Advantage) ?

▶ ברגע שהתמונה מוגדרת במונחי צבעים במיקומים (x, y) ברשת, ניתן לשנות את התמונה בקלות על ידי שינוי ערכי המיקום או הצבע

▶ למשל, אם נהפוך את המיפוי שלנו לעיל ונהפוך 10 = לבן ו-0 = שחור, התמונה תיראה כך:

▶ ניתן להעתיק ולהדביק מידע של פיקסל מתמונה אחת לאחרת, ולהחליף או לשלב עם פיקסלים שאוחסנו בעבר



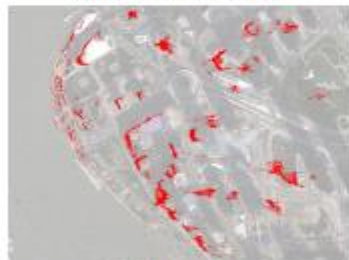
מה החיסרון (What's the Disadvantage) ?



(a) One input image



(b) Depth map



(c) Map overlay



(d) Rendering

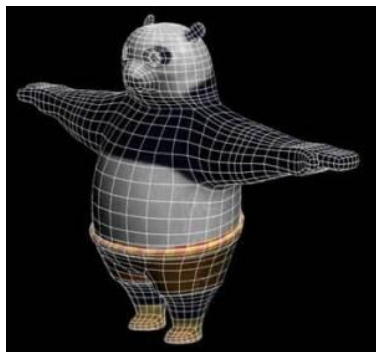
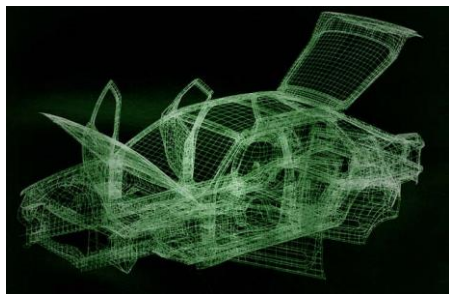
Figure 15: Results on a challenging unstructured light field, obtained by hand-held capture (a) from a floating boat. (b) A resulting depth map. (c) Overlay of our reconstruction on a satellite image ©2013 DigitalGlobe, Google. (d) Rendering from a novel viewpoint.

“Scene Reconstruction from High Spatio-Angular Resolution Light Fields” by Kim, Zimmer et al., 2013

מה שאתה רואה זה כל מה שאתה מקבל (WYSIAYG)
 (What You See Is All You Get): אין מידע נוסף

- ▶ אין מידע עומק; אבל ניתן לשלב שימוש בחיישני עומק
- ▶ לא יכול לבחון סצנה מנקודת מבט שונה
- ▶ לכל היותר יכול לשחק עם הפיקסלים הבודדים או קבוצות הפיקסלים כדי לשנות צבעים, לשפר ניגודיות, למצוא קצוות וכו'.
- ▶ אך קימת הצלחה גדולה יותר ויותר בהדמיה מבוססות תמונה ליצירת סצנות תלת ממדיות מזויפות (fake 3D scenes) ועמדות מצלמה שרירותיות. תמונות חדשות שנבנו על ידי אינטרפולציה, קומפוזיציה, עיוות ופעולות אחרות.
- ▶ לקבלת נקודת מבט מדעית חישובית וקוגניטיבית, קח את ראייה ממחשבת של ג'יימס טומפקין (CSCI1430)

גרפיקה מבוססת גיאומטריה (Geometry-Based Graphics) (1/2)



▶ גרפיקה מבוססת גיאומטריה (נקראת גם גרפיקה וקטורית הניתנת להרחבה או גרפיקה מונחית עצמים): מודל גיאומטרי נוצר, יחד עם מאפייני מראה שונים, ואז נדגמים לצורך הדמיה (עיבוד תמונה, סינתזת תמונה) לעתים קרובות היבט כלשהו של עולם פיזי מדומה ויזואלית, או "מסונתז"

▶ דוגמא לתוכנות דו ממדיות (2D): Adobe Illustrator™ and Corel CorelDRAW™

▶ דוגמא לתוכנות תלת ממדיות (3D): Autodesk's AutoCAD™, Autodesk's (formerly Alias|Wavefront's) Maya™, Autodesk's 3D Studio Max™

גרפיקה מבוססת גיאומטריה (Geometry-Based Graphics) (1/2)

► יישומים גרפיים מבוססי גיאומטריה:

- אחסון תיאורים מתמטיים, או "מודלים", של אלמנטים גיאומטריים (קווים, מצולעים, פולידרונים, רשתות מצולעים ...) ותכונות קשורות (למשל, צבע, תכונות חומר).
- אלמנטים גיאומטריים נקראים צורות פרימיטיביות, בקיצור פרימיטיבים (**primitives**).
- תמונות נוצרות באמצעות דגימה של הגאומטריה לצפייה, אך אינן מאוחסנות כחלק מהמודל.
- משתמשים בדרך כלל לא יכולים לעבוד ישירות עם פיקסלים בודדים בתוכניות מבוססות גאומטריה; כאשר המשתמש עושה מניפולציה על אלמנטים גיאומטריים, התוכנה מדגימה מחדש ומציגה אלמנטים מחדש
- יותר ויותר, העיבוד משלב גרפיקה מבוססת גיאומטריה ודוגמאות, הן כפריצת ביצועים והן להגברת איכות המוצר הסופי
- דמויות אנימציה CG (Computer Generated) (גיאומטריה) על תמונות סצנה מצוירות או מצולמות (דוגמאות)

מהו מידול גיאומטרי (What is Geometric Modeling) ?

- ▶ מהו מידול ?
- ▶ שיטה הלוכדת תכונות בולטות (נתונים, התנהגות) של האובייקט
 - ▶ כאשר תופעת מידול הנתונים כוללת גיאומטריה, מראה, תכונות ...
 - ▶ שימו לב לדמיון לרעיונות OOP
- ▶ המידול מאפשר לנו להתמודד עם המורכבות
- ▶ המיקוד שלנו: דוגמנות וצפייה בחפצים יומיומיים פשוטים
- ▶ נשקול זאת כך:
- ▶ באמצעות גרפיקה ממוחשבת בתלת מימד, יש לנו צורות תלת מימד מופשטות וניתנות לשינוי, לראשונה בהיסטוריה האנושית
- ▶ חולל מהפכה בתהליך העבודה בתחומים רבים - מדע, הנדסה, עיצוב תעשייתי, אדריכלות, מסחר, בידור וכו'. השלכות עמוקות על חשיבה חזותית ואוריינות חזותית.
- ▶ "אמת חזותית (Visual truth)" נעלמה בעולם רווי הפוטושופ - רואים אבל כבר לא מאמינים ...

רינדור (3D rendering) גרפיקת תלת-ממד

- ▶ **רינדור גרפיקת תלת-ממד** - הוא תהליך ההמרה האוטומטי המבוצע באמצעות מחשב על מודלים תלת-ממדיים מדומים (וירטואליים) כדי ליצור תמונות או סרטוני אנימציה דו-ממדיים המכילים גרפיקת תלת-ממד בעלי מראה תלת-ממדי מציאותי.
- ▶ לאורך השנים פותחו טכניקות רינדור שונות.
- ▶ רינדור גרפיקת תלת-ממד המבוצע בזמן אמת – לדוגמא משחקי מחשב.
- ▶ רינדור גרפיקת תלת-ממד שאינו מבוצע בזמן אמת – לדוגמא סרטי אנימציה.
- ▶ רינדור של מודלים המכילים השתקפות והצללה – לדוגמא טכניקות לעיבוד השתקפות והצללה במודלים בגרפיקת תלת-ממד.

מידול (Modeling) לעומת גרפיקת תלת-ממד (Rendering)

מידול (Modeling) ▶

- ▶ צור מודלים
- ▶ החל חומרים על דגמים
- ▶ הצב דוגמאות סביב הסצנה
- ▶ הצב אורות בסצנה
- ▶ מקם את המצלמה

רנדור (Rendering) ▶

- ▶ צלם "תמונה" עם המצלמה

- ▶ הנתונים ניתנים לתוכנה מסחרית:

Autodesk Maya™, 3D Studio Max™, Blender™,

Spot
Light

Ambient
Light



Point Light

Directional Light

lighting assignment by Patrick Doran, Spring 2009

DEMO: PHOTOREALISTIC MODEL/RENDER OF A HUMAN

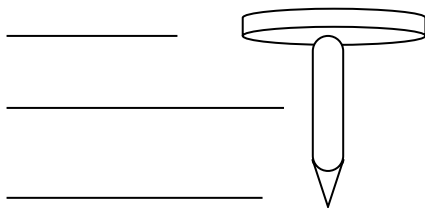
Siren Real Time Performance

Andy Serkis MoCap

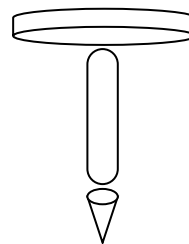
פירוק של המידול הגיאומטרי

- ▶ הפרד ומשול (Divide and Conquer)
- ▶ צור היררכיה של רכיבים גיאומטריים (Hierarchy of geometrical components)
- ▶ הפחתה לפרמיטיבים (Reduction to primitives) (למשל, כדורים, קוביות וכו')
- ▶ אלמנטים פשוטים לעומת לא פשוטים (Nail) (מסמר) לעומת בורג (Screw)

Head
Shaft
Point



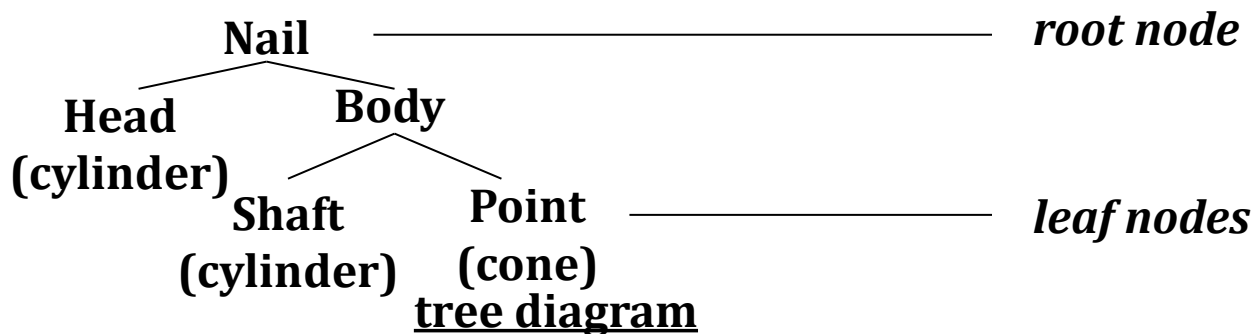
מאחד Composition



מפורק Decomposition

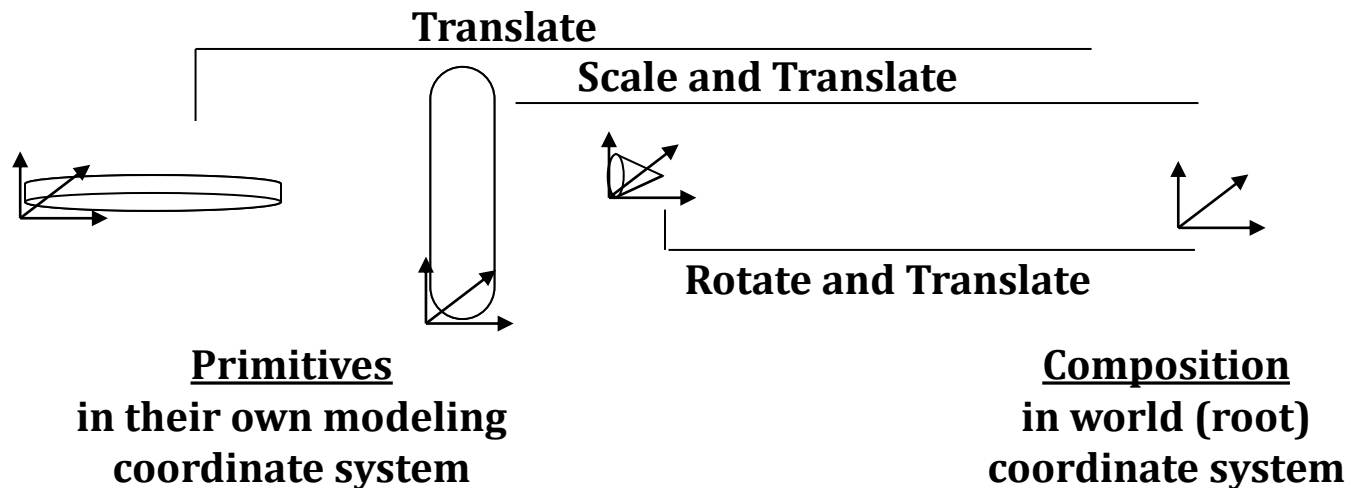
תרשים היררכי (עץ) של מסמר (Nail)

- ▶ האובייקט שיש לדגם מנותח (ויזואלית) אשר מתפרק לאוספים של צורות פרימיטיביות.
- ▶ רשים העץ מספק שיטה ויזואלית לביטוי "מורכב" של יחסי מודל



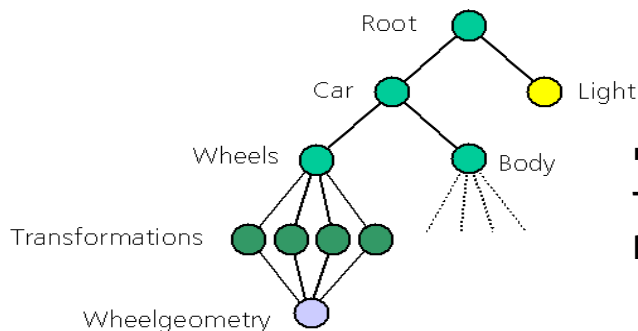
- ▶ דיאגרמות כאלה הן חלק מממשקי התוכנה התלת-ממדית (לדוגמא: 3D Studio MAX, Maya)
- ▶ כמבנה נתונים (data structure) שיש להציג, זה נקרא **תרשים (scenegrph)**

הרכבה של מודל גיאומטרי (Composition of a Geometric Model)



- יש להרכיב פרימיטיבים שנוצרו בתהליך פירוק כדי ליצור אובייקט סופי.
- נעשה עם טרנספורמציות אפיניות (**affine transformations**): T, R, S (כמו בדוגמה לעיל). ענייני סדר - אלה אינם מתחלפים!

נושאים קרובים (Upcoming Topics)



▶ תמרנו צורות פרימיטיביות עם **טרנספורמציות גיאומטריות** (תזוזה, סיבוב, שינוי קנה מידה). טרנספורמציות אלה חיוניות לארגון המודל, תהליך חיבור אובייקטים מורכבים ממרכיבים פשוטים יותר.

▶ מודלים היררכיים ושינויים גיאומטריים חיוניים גם לאנימציה – צור (create) וערוך תרשימים (edit **scenegraphs**)

▶ לאחר קביעת הגיאומטריה של האובייקט, יש להציג אותו על המסך: מפה מגיאומטריה תלת-ממדית להטלה (projections) דו-ממדיות עבור צפייה, ומ- 2D ל-3D למכשירי קלט דו-ממדיים (למשל, העכבר או העט או מגע)

▶ במהלך מיפוי מתלת-ממד לדו-ממדי, נעשה שימוש במאפייני החפצים (משטחיים) ואפקטים של תאורה בעיבוד רנדור (**rendering**) לקונסטרוקציות. תהליך עיבוד זה נקרא גם סינתזת תמונות (**image synthesis**)

לסיכום

- ▶ גרפיקה ממוחשבת כוללת יישומים בזמן אמת\אינטראקטיביים ויישומי אצווה (batch)\לא מקוונים (offline)
 - ▶ שניהם מקרי שימוש חשובים לא פחות, אך שונים
- ▶ פוטו-ריאליזם ממש התקדם
 - ▶ אך עדיין לוקח עשרות שעות במחשבים המהירים ביותר לחקות פיזיקה של פוטונים באינטראקציה עם סביבות פיזיות
- ▶ התפתחות חומרה מגרפיקה וקטורית (vector) לרסטר (raster)
 - ▶ גרפיקה וקטורית שורדת כגרפיקה וקטורית מדרגית, אשר הופכת ללא artifacts (תוצאה לא רצויה שמופיעה בהדמיה)
- ▶ גרפיקה מבוססת גיאומטריה (Geometry-based) לעומת גרפיקה מבוססת תמונה (image-based)
 - ▶ הגדרה מתמטית לעומת מניפולציה בפיקסלים
- ▶ פיקסלים הם דוגמאות בדידות של פונקציות רציפות
 - ▶ גורם ל-artifacts להופיע (תוצאות לא רצויות)
- ▶ מודלים גיאומטריים נבנים בדרך כלל בצורה היררכית
 - ▶ יוצרים מבנה נתונים של תרשים הסצנה

