

Računarska grafika, 2023/24

Uvod

Vesna Marinković

Obaveze studenata

Nema predispitnih obaveza

Projekat koji se radi tokom semestra (35 poena)

Završni ispit:

- praktični test (20 poena)
- teorijski test (45 poena)

Pragovi:

- bar 25 poena na praktičnim proverama znanja (bar 10 na projektu i bar 10 na praktičnom testu)
- bar 20 poena na teorijskom testu
- bar 51 poen u zbiru

Teme kursa

- Pojam računarske grafike. Poddiscipline računarske grafike. Primene
- Rasterska i vektorska grafika. Rasterizacija trougla. Aliasing efekat
- Geometrijske transformacije u 2D i 3D
- Projektovanje
- Model sintetičke kamere
- Algoritmi za utvrđivanje vidljivih površina
- Teksture
- Osvetljenje i senčenje
- Boje
- Prostorne strukture podataka
- Reprzentacija figura
- Opisivanje krivih i površi u 3D

Literatura

- Vesna Marinković, Predrag Janičić, “Računarska grafika” (skripta)
- John Hughes et al, “Computer Graphics: Principles and Practice (3rd ed.)”
- Peter Shirley et al, “Fundamentals of Computer Graphics (4th ed.)”
- Materijali za predavanja kursa “Introduction to Computer Graphics” Univerziteta Brown (<http://cs.brown.edu/courses/cs123/>)
- Materijali za predavanja kursa “Computer Graphics” Univerziteta Carnegie Mellon (<http://15462.courses.cs.cmu.edu/fall2022/>)
- Learn OpenGL (<https://learnopengl.com/>)
- ...

- Konsultacije po potrebi

Cilj kursa

- **Praktični deo:** pisanje programa za rad sa 3D računarskom grafikom (C++ & moderni OpenGL)
- **Teorijski deo:** razumevanje matematičkih aspekata i algoritama koji su u osnovi modernih grafičkih sistema
- Cilj kursa NIJE učenje specifičnosti nekog konkretnog grafičkog programa, već savladavanje koncepata na kojima grafički programi počivaju

Plan današnjeg časa

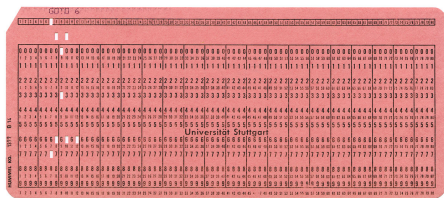
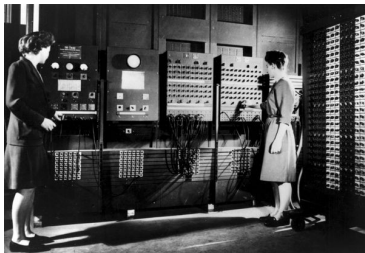
- Sticanje predstave šta je računarska grafika
- “Implementacija” prvog algoritma za generisanje slika 3D objekta

Šta je računarska grafika?



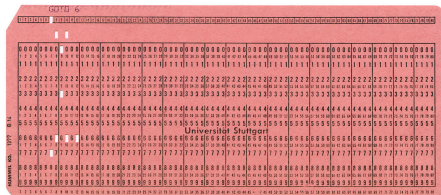
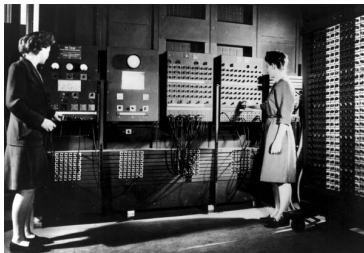
Preuzeto sa <https://www.cgw.com>

Rani računari (ENIAC, 1945.)

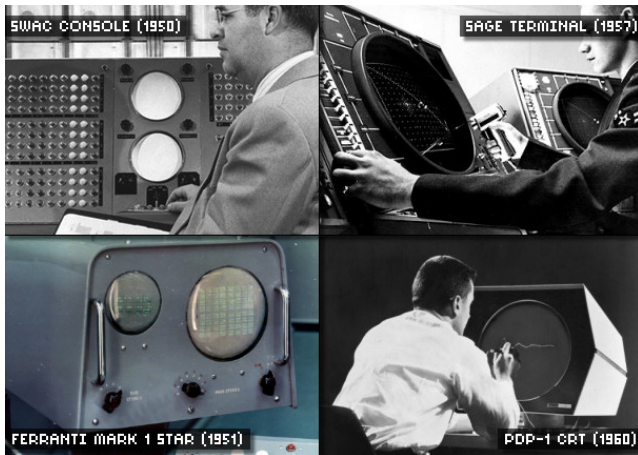


Rani računari (ENIAC, 1945.)

Sigurno postoji bolji način!

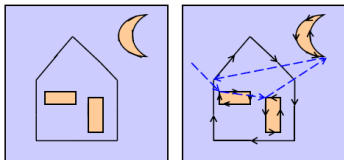


Rani uređaji za prikaz



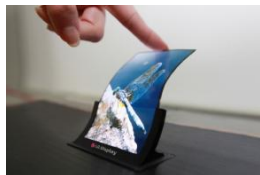
Razvoj uređaja za prikaz

- Vektorski sistemi (random scan)
- CRT ekrani (rasterski sistemi)



Razvoj uređaja za prikaz

- LCD ekrani sa pasivnom matricom
- LCD ekrani sa aktivnom matricom, TFT ekrani
- OLED ekrani



Interesantan video na temu kako rade ove tehnologije:
<https://www.youtube.com/watch?v=3BJU2drirtCM>

Virtuelna realnost (virtual reality)

- Sve što korisnik vidi je računarski generisano
- Trend razvoja tehnologije ka unapređenju doživljaja virtuelne realnosti
 - HMD uređaji za prikaz
 - 3D prostori (pećine) virtuelne realnosti
- Primene u oblasti simulacija, treniranja, edukacije, ...



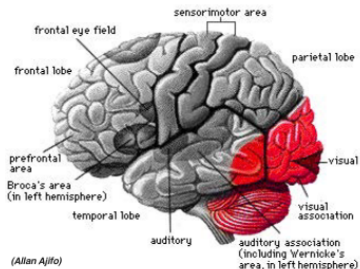
Proširena realnost (augmented reality)

- Kombinuje se računarski generisana slika sa pogledom na realni svet
- Jednostavni pristup putem pametnih telefona
- Primene u turizmu, prodaji, industriji igara, ...



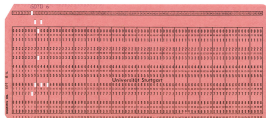
Zašto baš vizualna informacija?

- Oko 30% mozga je zaduženo za obradu vizuelnih informacija
- Putem oka moguće je propustiti najveću količinu informacija
- “Jedna slika vredi hiljadu reči”



Kako bismo definisali računarsku grafiku?

- Definicija 1: korišćenje računara za generisanje vizualne informacije

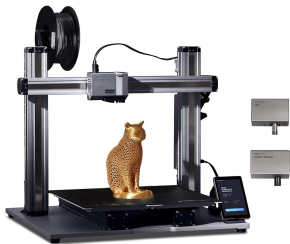


Šta još potpada u računarsku grafiku?

- Informacija koja se generiše ne mora biti čisto vizualna
- Moguće je generisati različite senzorne stimulanse: zvuk, dodir, . . .
- Pored generisanja senzornih informacija, moguće je i njima manipulirati
- **Definicija 2:** Korišćenje računara za generisanje i **manipulisanje senzornim** informacijama
- I ova definicija nije sveobuhvatna

Šta je još računarska grafika?

- Moguće je digitalnu informaciju transformisati i u fizičku materiju



Šta je sve računarska grafika?

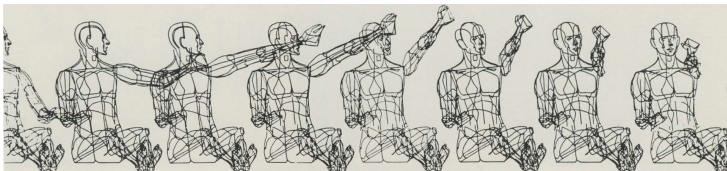
- ACM SIGGRAPH 2023

<https://www.youtube.com/watch?v=VBZ2sDxvZQE>



Naš fokus na kursu računarske grafike

- Bavi se prevashodno pravljenjem **modela objekata** na sceni i **modela osvetljenja** na sceni i, na osnovu toga, pravljenjem određenog **pogleda na scenu**
- Treći dominantan način proizvodnje slika
- Termin "Računarska grafika", William A. Fetter, 1960.

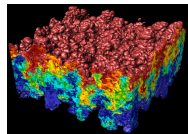
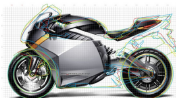


Računarska grafika danas

- Deo svakodnevice
- Konstantan rast očekivanja korisnika
- Rast performansi uređaja za generisanje digitalnih slika i alata za njihovu obradu

Primene računarske grafike

- Grafički korisnički interfejsi
- Vizualizacija (naučnih, medicinskih i drugih) podataka
- CAD, CAM, CAE
- Simulacije: naučne, u cilju treniranja
- Industrija zabave: film, računarske igre, vizuelni efekti
- Arhitektura, umetnost, dizajn
- Navigacija

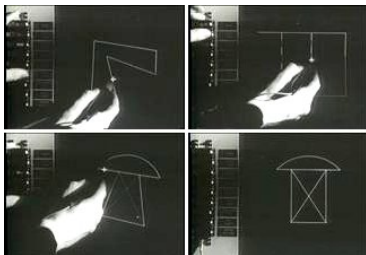


Tipovi računarske grafike na osnovu podržane interaktivnosti

- **Neinteraktivna** računarska grafika
 - korisnik nema kontrolu nad slikom koja se prikazuje
 - jednosmerna komunikacija (npr. televizija, screen saver)
- **Interaktivna** računarska grafika
 - korisnik ima neki vid kontrole nad slikom koja se prikazuje
 - dvosmerna komunikacija (npr. računarske igre, simulacije letenja)

Začeci interaktivne računarske grafike

- Interakcija čovek - računar kao zasebna oblast
- Prvi sistem **Sketchpad**, Ivan Sutherland, 1963, MIT
- “Sistem Sketchpad koristi crtanje kao novi vid komunikacije sa računarom.”



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

Interaktivna računarska grafika danas

- Savremeni interaktivni grafički sistemi prihvataju podatke i instrukcije od korisnika putem naprednih ulaznih uređaja



Batch (paketna, serijska) računarska grafika

- Neinteraktivna paketna obrada (oflajn renderovanje) se i dan danas koristi za specijalne efekte u finalnom videu produkcionog kvaliteta
- Renderovanje jednog frejma iz filma Finding Dory (2016, 24fps) trajalo je u proseku 53 časova na render farmi od 30.000 jezgara!



Modelovanje i iscrtavanje kocke

- **Cilj:** generisati realističnu sliku kocke
- **Ključna pitanja:**
 - **modelovanje:** kako opisati kocku na računaru?
 - **renderovanje:** kako vizualizovati taj model?



Modelovanje kocke

- Pretpostavke:
 - centar kocke se nalazi u koordinatnom početku
 - stranica kocke je dužine 2
 - ivice kocke su poravnate sa x , y i z koordinatnom osom
- **Pitanje:** koje su koordinate temena kocke?

Modelovanje kocke

- Pretpostavke:
 - centar kocke se nalazi u koordinatnom početku
 - stranica kocke je dužine 2
 - ivice kocke su poravnate sa x , y i z koordinatnom osom
- **Pitanje:** koje su koordinate temena kocke?
 $A : (1, 1, 1), B(-1, 1, 1), C(1, -1, 1), D(-1, -1, 1)$
 $E : (1, 1, -1), F(-1, 1, -1), G(1, -1, -1), H(-1, -1, -1)$
- **Pitanje:** koje su ivice kocke?

Modelovanje kocke

- Pretpostavke:

- centar kocke se nalazi u koordinatnom početku
- stranica kocke je dužine 2
- ivice kocke su poravnate sa x , y i z koordinatnom osom

- **Pitanje:** koje su koordinate temena kocke?

$A : (1, 1, 1), B(-1, 1, 1), C(1, -1, 1), D(-1, -1, 1)$

$E : (1, 1, -1), F(-1, 1, -1), G(1, -1, -1), H(-1, -1, -1)$

- **Pitanje:** koje su ivice kocke?

$AB, CD, EF, GH,$

$AC, BD, EG, FH,$

AE, CG, BF, DH

Is crtavanje kocke

- Sad kada imamo digitalni opis kocke...
 - temena
 $A : (1, 1, 1), B(-1, 1, 1), C(1, -1, 1), D(-1, -1, 1)$
 $E : (1, 1, -1), F(-1, 1, -1), G(1, -1, -1), H(-1, -1, -1)$
 - ivice
 $AB, CD, EF, GH,$
 $AC, BD, EG, FH,$
 AE, CG, BF, DH
- ... postavlja se pitanje kako iscrtati 3D kocku kao 2D sliku?

Iscrtavanje kocke

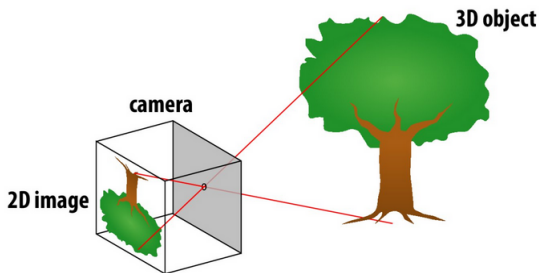
- Sad kada imamo digitalni opis kocke...
 - temena
 $A : (1, 1, 1), B(-1, 1, 1), C(1, -1, 1), D(-1, -1, 1)$
 $E : (1, 1, -1), F(-1, 1, -1), G(1, -1, -1), H(-1, -1, -1)$
 - ivice
 $AB, CD, EF, GH,$
 $AC, BD, EG, FH,$
 AE, CG, BF, DH
- ... postavlja se pitanje kako iscrtati 3D kocku kao 2D sliku?
 - Odbaciti jednu koordinatu, npr. z-koordinatu?

Is crtavanje kocke

- Sad kada imamo digitalni opis kocke...
 - temena
 $A : (1, 1, 1), B(-1, 1, 1), C(1, -1, 1), D(-1, -1, 1)$
 $E : (1, 1, -1), F(-1, 1, -1), G(1, -1, -1), H(-1, -1, -1)$
 - ivice
 $AB, CD, EF, GH,$
 $AC, BD, EG, FH,$
 AE, CG, BF, DH
- ... postavlja se pitanje kako iscrtati 3D kocku kao 2D sliku?
 - Odbaciti jednu koordinatu, npr. z-koordinatu?
 - Opšta strategija
 - 1 preslikati 3D temena na tačke 2D slike
 - 2 povezati tako dobijene 2D tačke dužima

Perspektivna projekcija

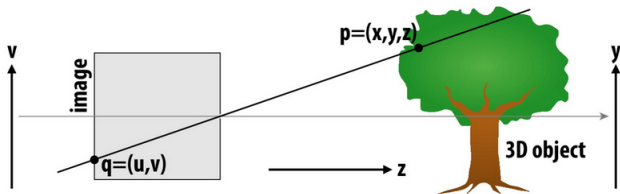
- Objekti izgledaju manje kako se od njih udaljavamo - **perspektiva**
- Zašto se ovo dešava?
- Razmotrimo model tačkaste kamere (camera obscura)



Preuzeto sa <http://15462.courses.cs.cmu.edu/fall12022/>

Perspektivna projekcija: pogled sa strane

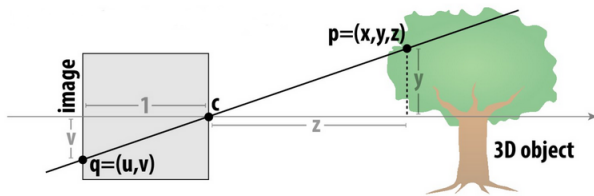
- Tačka $p = (x, y, z)$ sa objekta se slika u tačku $q = (u, v)$ na slici



Preuzeto sa <http://15462.courses.cs.cmu.edu/fall12022/>

Perspektivna projekcija: pogled sa strane

- Tačka $p = (x, y, z)$ sa objekta se slika u tačku $q = (u, v)$ na slici
- Uočimo slične trouglove

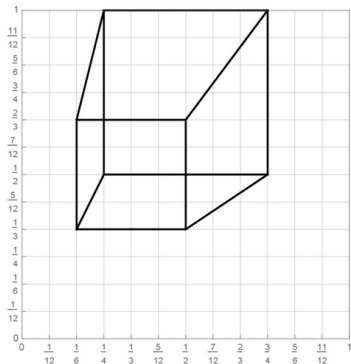


- Pretpostavimo da je kamera jedinične veličine, a da je koordinatni početak na mestu otvora kamere
- Važi $v/1 = y/z$, tj. vertikalna koordinata v jednaka je nagibu y/z
- Slično, horizontalna koordinata je jednaka $u = x/z$
- Rezultat odgovara intuiciji: u i v koordinata se smanjuju sa porastom vrednosti z

Crtanje kocke

- Neka se kamera nalazi u tački $c = (2, 3, 5)$
- Ponavljamo po jednom za svaku od 12 ivica kocke:
 - Konvertujemo koordinate (X, Y, Z) obe krajnje tačke ivice u koordinate (u, v) tako što
 - 1 oduzimamo koordinate kamere c od koordinata temena (X, Y, Z) kako bi dobili koordinate (x, y, z) relativno u odnosu na kameru
 - 2 delimo (x, y) vrednošću z koordinate da dobijemo (u, v)
 - Crtamo duž od tačke (u_1, v_1) do tačke (u_2, v_2)

Iscrtavanje kocke

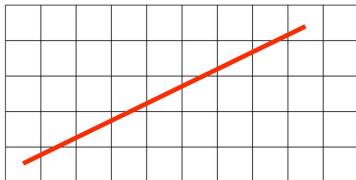


2D koordinate:

$$A\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right), B\left(\frac{3}{4}, \frac{1}{2}\right), C\left(\frac{1}{4}, 1\right), D\left(\frac{3}{4}, 1\right), E\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{3}\right), F\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right), G\left(\frac{1}{6}, \frac{2}{3}\right), H\left(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}\right)$$

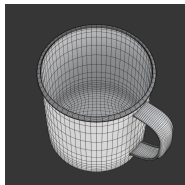
Iscrtavanje kocke

- Ostaje pitanje: kako nacrtati duž na računaru?
- **Rasterizacija** – proces konvertovanja neprekidnog objekta u diskretnu reprezentaciju na rasterskoj mreži
- Ovim pitanjem bavićemo se narednog časa



Osnovne poddiscipline računarske grafike

- Modelovanje

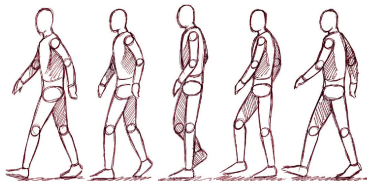


- Renderovanje



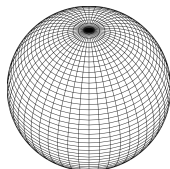
Osnovne poddiscipline računarske grafike

- Animacija



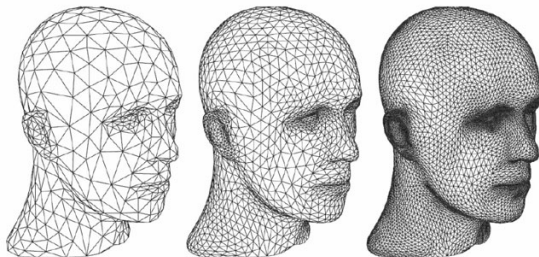
Modelovanje

- Pravljenje matematičke specifikacije objekta i njegovih vizualnih svojstava na način na koji je moguće sačuvati na računaru
- Uključuje:
 - pravljenje modela objekata
 - postavljanje modela na scenu
 - pravljenje modela izvora svetlosti
 - pozicioniranje svetla na sceni
 - postavljanje kamere. . .
- Različiti načini modelovanja sfere poluprečnika r
 - matematičkom jednačinom $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$
 - mrežom poligona



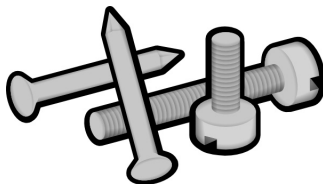
Modelovanje

- Objekat možemo modelovati sa različitim nivoom detaljnosti (eng. LOD – level of details)



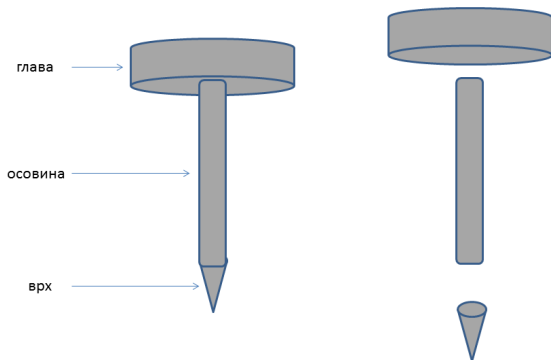
Modelovanje

- Modelovanje prati **hijerarhijski princip**
- Objekat se analizira, a zatim razlaže na komponente koje je jednostavnije modelovati
- Postupak se nastavlja dok se ne stigne do primitiva
- Jednostavni vs. složeni objekti



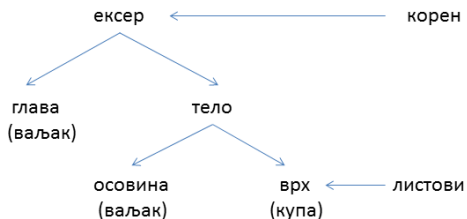
Modelovanje eksera (prvi korak)

- Razlaganje objekta na komponente



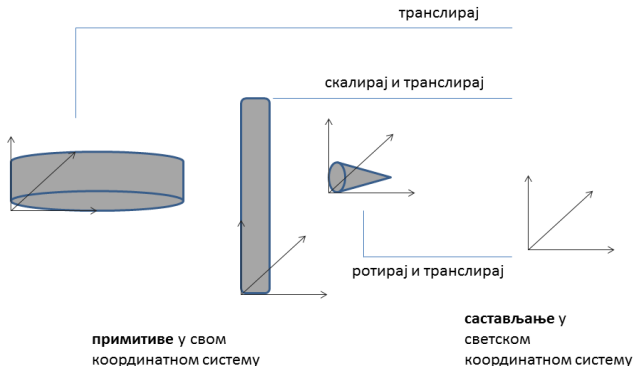
Modelovanje eksera (drugi korak)

- Pravljenje **hijerarhijske strukture** objekta



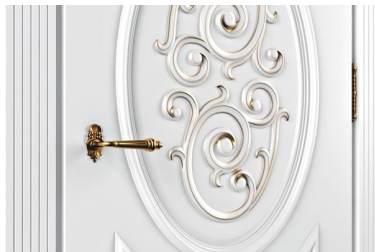
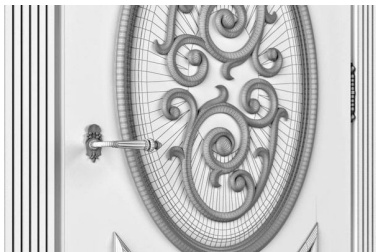
Modelovanje eksera (treći korak)

- Sastavljanje primitiva u polazni objekat



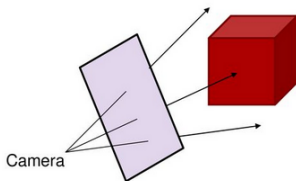
Renderovanje

- Transformisanje scene u 2D sliku
- Pravljenje realistične 2D slike na osnovu modela objekta i modela ponašanja svetlosti

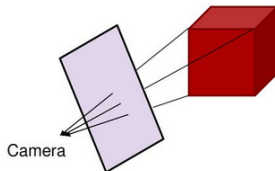


Vrste renderovanja

- Razlikujemo **renderovanje unapred** i **renderovanje unazad**



Backward rendering



Forward rendering