

Uvodu u informatiku – Računarska grafika

Danijela Simić
računarska grafika
1. oktobar 2024.



1. Uvod
2. Računarska grafika
3. Računarska vizija
4. Računarska geometrija
5. Robotika

Uvod

- **Računarska grafika** — kreiranje vizuelnog sadržaja koji omogućava razvoj realističnih simulacija, animacija i kreiranje virtuelnih okruženja.

- **Računarska grafika** — kreiranje vizuelnog sadržaja koji omogućava razvoj realističnih simulacija, animacija i kreiranje virtuelnih okruženja.
- **Računarska vizija** — omogućava računarima da tumače i analiziraju vizuelne podatke.

- **Računarska grafika** — kreiranje vizuelnog sadržaja koji omogućava razvoj realističnih simulacija, animacija i kreiranje virtuelnih okruženja.
- **Računarska vizija** — omogućava računarima da tumače i analiziraju vizuelne podatke.
- **Geometrijski algoritmi** — predstavljaju matematičku osnovu za rešavanje prostornih problema, od detekcije kolizije u video igrama, do planiranja pokreta u robotici.

- **Računarska grafika** — kreiranje vizuelnog sadržaja koji omogućava razvoj realističnih simulacija, animacija i kreiranje virtuelnih okruženja.
- **Računarska vizija** — omogućava računarima da tumače i analiziraju vizuelne podatke.
- **Geometrijski algoritmi** — predstavljaju matematičku osnovu za rešavanje prostornih problema, od detekcije kolizije u video igrama, do planiranja pokreta u robotici.
- **Robotika** — sinergiju između ovih oblasti, omogućavajući na taj način inteligentnim mašinama da se kreću i interaguju sa složenim okruženjima.

Računarska grafika

Računarska grafika (engl. computer graphics) je oblast računarstva koja se bavi generisanjem, prikazivanjem i obradom slika uz pomoć računara.

Računarska grafika (engl. computer graphics) je oblast računarstva koja se bavi generisanjem, prikazivanjem i obradom slika uz pomoć računara.

- Video igre, “Avatar”, “Priča o igračkama”, ...

Računarska grafika (engl. computer graphics) je oblast računarstva koja se bavi generisanjem, prikazivanjem i obradom slika uz pomoć računara.

- Video igre, “Avatar”, “Priča o igračkama”, ...
- Nastala sredom 20. veka.

Računarska grafika (engl. computer graphics) je oblast računarstva koja se bavi generisanjem, prikazivanjem i obradom slika uz pomoć računara.

- Video igre, “Avatar”, “Priča o igračkama”, ...
- Nastala sredom 20. veka.
- Prvo koristila vojska.

Računarska grafika

Primene računarske grafike

- Razvoj grafičkih korisničkih interfejsa (engl. graphical user interface, GUI).

- Razvoj grafičkih korisničkih interfejsa (engl. graphical user interface, GUI).
- Za različite vrste simulacija (simulacija vožnje, letenja, ...).

- Razvoj grafičkih korisničkih interfejsa (engl. graphical user interface, GUI).
- Za različite vrste simulacija (simulacija vožnje, letenja, ...).
- Za vizualizaciju informacija kako bi se omogućilo interpretiranje podataka velikog obima, pronalaženje obrazaca u podacima i nekih trendova.

- Razvoj grafičkih korisničkih interfejsa (engl. graphical user interface, GUI).
- Za različite vrste simulacija (simulacija vožnje, letenja, ...).
- Za vizualizaciju informacija kako bi se omogućilo interpretiranje podataka velikog obima, pronalaženje obrazaca u podacima i nekih trendova.
- U domenu filmske industrije, televizije i video igara.

- Razvoj grafičkih korisničkih interfejsa (engl. graphical user interface, GUI).
- Za različite vrste simulacija (simulacija vožnje, letenja, ...).
- Za vizualizaciju informacija kako bi se omogućilo interpretiranje podataka velikog obima, pronalaženje obrazaca u podacima i nekih trendova.
- U domenu filmske industrije, televizije i video igara.
-

Virtuelna realnost

Omogućava simuliranje računarski generisanog okruženja. Kompletan sadržaj koji se korisniku prikazuje je računarski generisan.

Virtuelna realnost

Omogućava simuliranje računarski generisanog okruženja. Kompletan sadržaj koji se korisniku prikazuje je računarski generisan.

- Virtuelna putovanja, virtuelni obilazak muzeja, ...

Virtuelna realnost

Omogućava simuliranje računarski generisanog okruženja. Kompletan sadržaj koji se korisniku prikazuje je računarski generisan.

- Virtuelna putovanja, virtuelni obilazak muzeja, ...
- Korisnik biva “ubačen” u računarski generisano okruženje sa kojim može da interaguje interaktivnim uređajima (naočara, kaciga, rukavica, ...).

Proširena realnost

Korisniku se putem pametnih telefona ili posebnih naočara prikazuje slika koja kombinuje realističan pogled na okolinu sa sadržajem koji je računarski generisan

Proširena realnost

Korisniku se putem pametnih telefona ili posebnih naočara prikazuje slika koja kombinuje realističan pogled na okolinu sa sadržajem koji je računarski generisan

- Može biti u vidu teksta ili grafike.

Proširena realnost

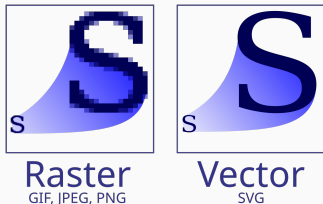
Korisniku se putem pametnih telefona ili posebnih naočara prikazuje slika koja kombinuje realističan pogled na okolinu sa sadržajem koji je računarski generisan

- Može biti u vidu teksta ili grafike.
- Primer: turistički obilasci, ...

Računarska grafika

Rasterska i vektorska grafika

Rasterska i vektorska grafika



Slika 1: Razlika između rasterske i vektorske grafike (preuzeto sa https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_graphics).

U *rasterskoj grafici* slika se predstavlja kao pravougaona mreža sićušnih elemenata koje nazivamo *pikseli* (engl. pixel, picture element).

U *rasterskoj grafici* slika se predstavlja kao pravougaona mreža sićušnih elemenata koje nazivamo *pikseli* (engl. pixel, picture element).

- Svaki piksel ima svoju boju (osvetljenost, transparentnost).

U *rasterskoj grafici* slika se predstavlja kao pravougaona mreža sićušnih elemenata koje nazivamo *pikseli* (engl. pixel, picture element).

- Svaki piksel ima svoju boju (osvetljenost, transparentnost).
- Pri pravoj rezoluciji pojedinačni pikseli nisu vidljivi golim okom.

U *rasterskoj grafici* slika se predstavlja kao pravougaona mreža sićušnih elemenata koje nazivamo *pikseli* (engl. pixel, picture element).

- Svaki piksel ima svoju boju (osvetljenost, transparentnost).
- Pri pravoj rezoluciji pojedinačni pikseli nisu vidljivi golim okom.
- Crno-bele slike – 1 bit po pikselu.

U *rasterskoj grafici* slika se predstavlja kao pravougaona mreža sićušnih elemenata koje nazivamo *pikseli* (engl. pixel, picture element).

- Svaki piksel ima svoju boju (osvetljenost, transparentnost).
- Pri pravoj rezoluciji pojedinačni pikseli nisu vidljivi golim okom.
- Crno-bele slike – 1 bit po pikselu.
- Slike u boji – 1 bajt po pikselu.

Rezolucija

Svaka rasterska slika sadrži fiksiran broj piksela. Broj piksela definiše kvalitet slike i on odgovara njenoj rezoluciji.

- Generisanje rasterskih slika: digitalni fotoaparati, skeniranje, ...

- Generisanje rasterskih slika: digitalni fotoaparati, skeniranje, ...
- Preovlađuje na internetu.

- Generisanje rasterskih slika: digitalni fotoaparati, skeniranje, ...
- Preovlađuje na internetu.
- Formati: `jpg`, `png`, `tiff` i `gif`.

- Generisanje rasterskih slika: digitalni fotoaparati, skeniranje, ...
- Preovlađuje na internetu.
- Formati: `jpg`, `png`, `tiff` i `gif`.
- Koriste kompresiju.

U *vektorskoj grafici* slika se čuva kao kolekcija geometrijskih primitiva (poput tačaka, duži i krivih) i njihovih svojstava, a njihova reprezentacija se temelji na matematičkim jednačinama.

U *vektorskoj grafici* slika se čuva kao kolekcija geometrijskih primitiva (poput tačaka, duži i krivih) i njihovih svojstava, a njihova reprezentacija se temelji na matematičkim jednačinama.

- Za svaku od primitiva zadaje se gde će se nalaziti na slici i koje je boje.

U *vektorskoj grafici* slika se čuva kao kolekcija geometrijskih primitiva (poput tačaka, duži i krivih) i njihovih svojstava, a njihova reprezentacija se temelji na matematičkim jednačinama.

- Za svaku od primitiva zadaje se gde će se nalaziti na slici i koje je boje.
- Najpoznatiji vektorski formati su [svg](#), [eps](#), [pdf](#) i [ai](#).

U *vektorskoj grafici* slika se čuva kao kolekcija geometrijskih primitiva (poput tačaka, duži i krivih) i njihovih svojstava, a njihova reprezentacija se temelji na matematičkim jednačinama.

- Za svaku od primitiva zadaje se gde će se nalaziti na slici i koje je boje.
- Najpoznatiji vektorski formati su [svg](#), [eps](#), [pdf](#) i [ai](#).
- Softver — Adobe Illustrator, CorelDRAW i Inkscape.

Vektorsku sliku moguće je skalirati (povećati, smanjiti) bez gubitka na kvalitetu slike.

Vektorsku sliku moguće je skalirati (povećati, smanjiti) bez gubitka na kvalitetu slike.

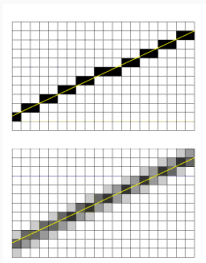
- Primena – dijagram, fontovi, logotipovi kompanija i slike koje u sebi sadrže tekst, ...

Vektorsku sliku moguće je skalirati (povećati, smanjiti) bez gubitka na kvalitetu slike.

- Primena – dijagram, fontovi, logotipovi kompanija i slike koje u sebi sadrže tekst, ...
- Smanjivanjem rasterske slike se **gube informacije** – gube se pikseli i biće prikazane uprosečene vrednosti susednih piksela.

Vektorsku sliku moguće je skalirati (povećati, smanjiti) bez gubitka na kvalitetu slike.

- Primena – dijagram, fontovi, logotipovi kompanija i slike koje u sebi sadrže tekst, ...
- Smanjivanjem rasterske slike se **gube informacije** – gube se pikseli i biće prikazane uprosečene vrednosti susednih piksela.
- Povećanjem rasterske slike dolazi **do nazubljenosti**.



Slika 2: Primer kose duži kod koje nije ili jeste primenjena antialijasing tehnika (preuzeto sa <https://www.schorsch.com/en/kbase/glossary/aliasing.html>).

Alijasing i Antialijasing

- Današnji ekrani su rasterski – slika se mora prevesti u rasterski oblik.

Alijasing i Antialijasing

- Današnji ekrani su rasterski – slika se mora prevesti u rasterski oblik.

Proces transformisanja vektorske slike u odgovarajući rasterski oblik, tj. u reprezentaciju pikselima naziva se **rasterizacija** (engl. rasterization).

-

Poligoni razbijaju na trouglove, a onda se rešava jednostavniji problem rasterizacije trouglova.

Alijasing i Antialijasing

- Današnji ekrani su rasterski – slika se mora prevesti u rasterski oblik.

Proces transformisanja vektorske slike u odgovarajući rasterski oblik, tj. u reprezentaciju pikselima naziva se **rasterizacija** (engl. rasterization).

- Poligoni razbijaju na trouglove, a onda se rešava jednostavniji problem rasterizacije trouglova.
- Prilikom rasterizacije nužno dolaziti do toga da kose linije izgledaju donekle “nazubljeno” i ovaj efekat naziva se **alijsing**(engl. aliasing).

Alijasing i Antialijasing

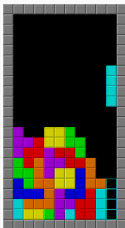
- Današnji ekrani su rasterski – slika se mora prevesti u rasterski oblik.

Proces transformisanja vektorske slike u odgovarajući rasterski oblik, tj. u reprezentaciju pikselima naziva se **rasterizacija** (engl. rasterization).

- Poligoni razbijaju na trouglove, a onda se rešava jednostavniji problem rasterizacije trouglova.
- Prilikom rasterizacije nužno dolaziti do toga da kose linije izgledaju donekle “nazubljeno” i ovaj efekat naziva se **alijsing**(engl. aliasing).
- Postoje brojne tehnike kojima se ovaj efekat može ublažiti i one se nazivaju **antialijasing tehnike**.

Računarska grafika

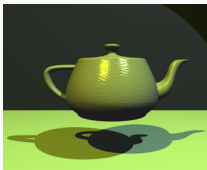
2D i 3D grafika



Slika 3: 2D igra tetris.

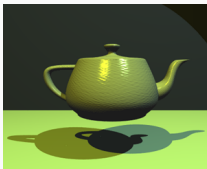
2D grafika podrazumeva generisanje digitalnih slika pomoću računara, prevashodno na osnovu 2D modela.

Slika je zadata širinom i visinom.



Slika 4: Čajnik iz Jute, kreiran od strane Martina Njuela 1975. godine i koji predstavlja jedan od referentnih test modela u 3D modelovanju.

- U 3D grafici se objekti koji su prirodi trodimenzionalni predstavljaju trodimenzionalnim modelima.



Slika 4: Čajnik iz Jute, kreiran od strane Martina Njuela 1975. godine i koji predstavlja jedan od referentnih test modela u 3D modelovanju.

- U 3D grafici se objekti koji su prirodi trodimenzionalni predstavljaju trodimenzionalnim modelima.
- Slika zadata širinom, visinom i dubinom.

Računarska grafika

Interaktivna grafika

Interaktivna grafika

Podrazumeva prikaz slike na računaru uz aktivno učešće čoveka u stvaranju i izmeni slike, pri čemu su rezultati odmah vidljivi, kao što je slučaj kod računarskih igara.

Interaktivna grafika

Podrazumeva prikaz slike na računaru uz aktivno učešće čoveka u stvaranju i izmeni slike, pri čemu su rezultati odmah vidljivi, kao što je slučaj kod računarskih igara.

Ivan Saderland i Sketchpad – sedamdesetih

Neinteraktivna grafika

Podrazumeva se svako računarsko generisanje ili prikaz unapred pripremljene slike ili video materijala, bez interakcije čoveka; tipičan primer neinteraktivne grafike je screensaver na ekranu računara, kao i računarski generisani filmovi.

Računarska grafika

Modelovanje i iscrtavanje

Scena koju iscrtavamo u interaktivnoj računarskoj grafici sastoji se od tri osnovna tipa elemenata.

- *objekata*,

Scena koju iscrtavamo u interaktivnoj računarskoj grafici sastoji se od tri osnovna tipa elemenata.

- *objekata,*
- *izvora svetla,*

Scena koju iscrtavamo u interaktivnoj računarskoj grafici sastoji se od tri osnovna tipa elemenata.

- *objekata,*
- *izvora svetla,*
- *kamere.*

Svaki od objekata ima:

- svoju geometriju (oblik i veličinu),

Svaki od objekata ima:

- svoju geometriju (oblik i veličinu),
- poziciju na sceni,

Svaki od objekata ima:

- svoju geometriju (oblik i veličinu),
- poziciju na sceni,
- pridružena svojstva materijala od kojeg je sačinjen.

- Može postojati jedan ili više izvora svetla.

- Može postojati jedan ili više izvora svetla.
- Neka svetla osvetljavaju kompletnu scenu, a neka samo deo scene.

- Može postojati jedan ili više izvora svetla.
- Neka svetla osvetljavaju kompletnu scenu, a neka samo deo scene.
- Neke od izvora svetla postavljamo direktno na scenu, dok za neke pretpostavljamo da su na beskonačno dalekom rastojanju od objekata.

- Može postojati jedan ili više izvora svetla.
- Neka svetla osvetljavaju kompletnu scenu, a neka samo deo scene.
- Neke od izvora svetla postavljamo direktno na scenu, dok za neke pretpostavljamo da su na beskonačno dalekom rastojanju od objekata.
- Svetlost može biti različite boje.

- Može postojati jedan ili više izvora svetla.
- Neka svetla osvetljavaju kompletnu scenu, a neka samo deo scene.
- Neke od izvora svetla postavljamo direktno na scenu, dok za neke pretpostavljamo da su na beskonačno dalekom rastojanju od objekata.
- Svetlost može biti različite boje.
- Svetlost može biti različitog tipa: da li se ponaša poput sijalice, sunca ili reflektora.

- Gde se nalazi na sceni?

- Gde se nalazi na sceni?
- U kom smeru kamera gleda?

- Gde se nalazi na sceni?
- U kom smeru kamera gleda?
- Koji deo scene sagledava?

Računarska grafika se u užem smislu bavi modelovanjem objekata na sceni, modelovanjem osvetljenja scene, modelovanjem virtuelne kamere i algoritmima kako, na osnovu dobijenih modela, iscrtati scenu iz ugla kamere.

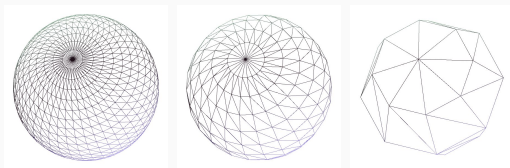
Dakle, dva osnovna zadatka računarske grafike su:

- modelovanje (engl. modelling) i

Dakle, dva osnovna zadatka računarske grafike su:

- **modelovanje** (engl. modelling) i
- **iscrtavanje**, odnosno *renderovanje* (engl. rendering).

Modelovanje objekata podrazumeva kreiranje njihove matematičke reprezentacije.



Slika 5: Različiti nivoi detaljnosti pri modelovanju sfere.

- Model treba da bude: memorijski efikasan, pogodna za obradu na računaru, upiti nad modelom se brzo izvršavaju.

- Model treba da bude: memorijski efikasan, pogodna za obradu na računaru, upiti nad modelom se brzo izvršavaju.
- Jasno je da ne postoji jedan, najbolji model nekog objekta.

- Model treba da bude: memorijski efikasan, pogodna za obradu na računaru, upiti nad modelom se brzo izvršavaju.
- Jasno je da ne postoji jedan, najbolji model nekog objekta.
- Jedan objekat moguće je modelovati sa različitim *nivoom detaljnosti*.

Objekti na različit način reaguju na svetlost (sjajni naspram mat).

Objekti na različit način reaguju na svetlost (sjajni naspram mat).

- Da li objekat i u kojoj meri reflektuje svetlost?

Objekti na različit način reaguju na svetlost (sjajni naspram mat).

- Da li objekat i u kojoj meri reflektuje svetlost?
- Da li objekat ravnomerno rasipa svetlost u svim smerovima?

Renderovanje podrazumeva transformisanje trodimenzionog prostora u dvodimenzionu sliku.

Renderovanje podrazumeva transformisanje trodimenzionog prostora u dvodimenzionu sliku.

Is crtavanje, odnosno renderovanje se bavi generisanjem realistične dvodimenzione digitalne slike na osnovu modela objekata na sceni i modela ponašanja svetlosti na sceni.

Prema vremenu u kojem se vrši, razlikujemo dve vrste renderovanja:

- renderovanje u realnom vremenu (koje se naziva i onlajn renderovanje) i
- oflajn renderovanje.

Renderovanje u realnom vremenu

To je tehnika koja omogućava kreiranje slika i animacija brzinom koja je dovoljna da omogući interakciju bez primetnog kašnjenja.

Renderovanje u realnom vremenu

To je tehnika koja omogućava kreiranje slika i animacija brzinom koja je dovoljna da omogući interakciju bez primetnog kašnjenja.

Računarske igre, simulacije, ...

Oflajn renderovanje

Koristi se za kreiranje realističnih slika visokog kvaliteta kada vreme nije kritičan resurs.

Oflajn renderovanje

Koristi se za kreiranje realističnih slika visokog kvaliteta kada vreme nije kritičan resurs.

Specijalni efekti u filmovima – svaka slika se renderuje i po nekoliko sati ili dana.

- Objekat najčešće zadajemo u koordinatnom sistemu.
- Primer sfera.
- Složeni objekti: automobil, voz ili mačka?

Složeni modeli se sastavljaju od jednostavnijih korišćenjem različitih geometrijskih transformacija:

Složeni modeli se sastavljaju od jednostavnijih korišćenjem različitih geometrijskih transformacija:

- translacija
- rotacija
- skaliranje
- ...

Svrha geometrijskih transformacija:

- mogu se postaviti dimenzije i pozicija objekta,

Svrha geometrijskih transformacija:

- mogu se postaviti dimenzije i pozicija objekta,
- realizuje se preslikavanje iz jednog u drugi koordinatni sistem,

Svrha geometrijskih transformacija:

- mogu se postaviti dimenzije i pozicija objekta,
- realizuje se preslikavanje iz jednog u drugi koordinatni sistem,
- njihovim dejstvom na objekte tokom vremena se omogućava kreiranje animacija i dr.

Linearne transformacije

Linearne transformacije su transformacije koje slikaju koordinatni početak sam u sebe i čuvaju kolinearnost tačaka (prave se slikaju u prave). Linearne transformacije su pogodne za rad jer se mogu izraziti u vidu množenja matricom.

$$T(x) = M \cdot x$$

Primeri: rotacija oko koordinatnog početka, skaliranje, itd...

Kompozicija linearnih transformacija je ponovo linearna transformacija.

Homogene koordinate:

$(4, 3, 7)$

$(8, 6, 14)$

$(4/7, 3/7, 1)$

Tačka u ravni:

$(4/7, 3/7)$

$(4/7, 3/7)$

$(4/7, 3/7)$

Homogne koordinate i rotacija

Posmatrajmo rotaciju za 90° . Matrica rotacije u homogenim koordinatama je:

$$R = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Koordinatni početak (homogenizovana reprezentacija):

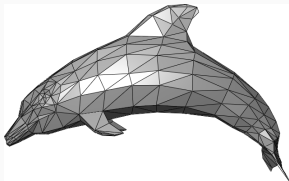
$$O_h = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Množenjem dobijamo:

$$R \cdot O_h = \begin{pmatrix} 0 \cdot 0 + (-1) \cdot 0 + 0 \cdot 1 \\ 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 \\ 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Kao što se vidi, koordinatni početak ostaje nepromenjen, tj.

$$R(O_h) = O_h.$$



Slika 6: Delfin modelovan u vidu mreže trouglova.

- Mreža poligona je model objekta koji se sastoji od skupa međusobno povezanih poligona.

- Mreža poligona je model objekta koji se sastoji od skupa međusobno povezanih poligona.
- Najčešće korišćeni poligoni su trouglovi jer su tri tačke u prostoru uvek komplanarne.

- Tačkasti izvor svetla — engl. point light source.

Modelovanje svetla – Tačkasti izvor svetla

- Tačkasti izvor svetla — engl. point light source.
- Izvor svetla beskonačno male dimenzije, pozicioniran na sceni.

Modelovanje svetla – Tačkasti izvor svetla

- Tačkasti izvor svetla — engl. point light source.
- Izvor svetla **beskonačno male dimenzije**, pozicioniran na sceni.
- Iz svoje pozicije na sceni **ravnomerno rasipa svetlost u svim smerovima**.

Modelovanje svetla – Tačkasti izvor svetla

- Tačkasti izvor svetla — engl. point light source.
- Izvor svetla beskonačno male dimenzije, pozicioniran na sceni.
- Iz svoje pozicije na sceni ravnomerno rasipa svetlost u svim smerovima.
- Dobru aproksimaciju u situaciji kada je izvor svetla značajno manji od veličine objekata na sceni (mala sijalica).

- Direkcioni izvor svetla — engl. directional light source.

Modelovanje svetla – Direkcionni izvor svetla

- Direkcionni izvor svetla — engl. directional light source.
- Simulira svetlost koja se emituje iz izvora svetla koji je beskonačno daleko od objekata sa scene, poput sunčeve svetlosti.

Modelovanje svetla – Direkcioni izvor svetla

- Direkcioni izvor svetla — engl. directional light source.
- Simulira svetlost koja se emituje iz izvora svetla koji je beskonačno daleko od objekata sa scene, poput sunčeve svetlosti.
- Svetlost iz direkcionog izvora pada uvek pod istim uglom, te se za njega po pravilu umesto pozicije zadaje smer u kome zraci svetlosti padaju na objekte sa scene.

- Ambijentalno svetlo — engl. ambient light.

Modelovanje svetla – Ambijentalno svetlo

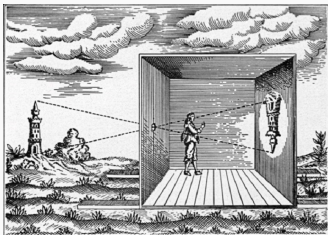
- Ambijentalno svetlo — engl. ambient light.
- Koristi za simulaciju prirodnog svetla na sceni.

Modelovanje svetla – Ambijentalno svetlo

- Ambijentalno svetlo — engl. ambient light.
- Koristi za simulaciju prirodnog svetla na sceni.
- Ono ne dolazi od nekog konkretnog izvora svetla, već podjednako osvetljava sve objekte na sceni.

Modelovanje svetla – Ambijentalno svetlo

- Ambijentalno svetlo — engl. ambient light.
- Koristi za simulaciju prirodnog svetla na sceni.
- Ono ne dolazi od nekog konkretnog izvora svetla, već podjednako osvetljava sve objekte na sceni.
- Ambijentalno svetlo obezbeđuje da je **svaka površ na sceni donekle osvetljena**, čime se sprečava dobijanje nerealističnih tamnih regiona na slici u slučaju objekata koji su daleko od izvora svetla.



Slika 7: Ilustracija procesa dobijanja slike korišćenjem kamere opskure.

Perspektivna projekcija

Slika se u perspektivnoj projekciji dobija tako što se iz centra projekcije puste zraci do tačke objekta i tačka u kojoj projekтивni zrak preseče ravan projekcije biće perspektivna projekcija te tačke.

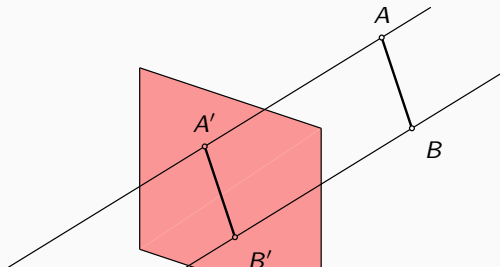
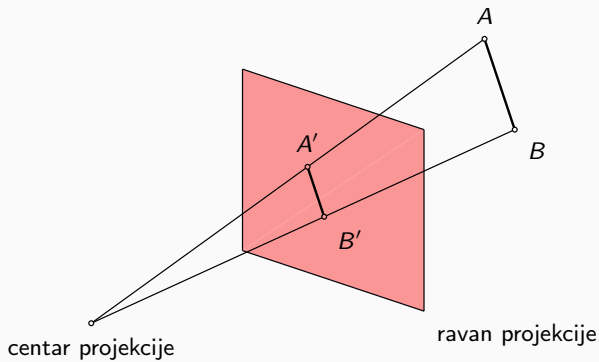
- Oponaša način na koji čovekovo oko doživljava dubinu i rastojanja u svetu koji nas okružuje.

Perspektivna projekcija

Slika se u perspektivnoj projekciji dobija tako što se iz centra projekcije puste zraci do tačke objekta i tačka u kojoj projekтивni zrak preseče ravan projekcije biće perspektivna projekcija te tačke.

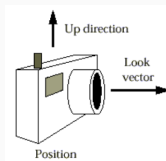
- Oponaša način na koji čovekovo oko doživljava dubinu i rastojanja u svetu koji nas okružuje.
- U ovoj projekciji objekti koji su bliži kameri izgledaju veći od objekata koji su dalje od kamere.

Paralelna i perspektivna projekcija



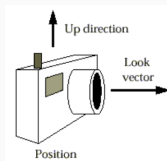
Perspektivna projekcija

Kod paralelne projekcije centar projekcije je beskonačno daleko od scene, tj. svi projektivni zraci su međusobno paralelni.



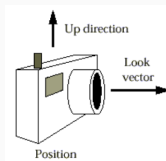
Položaj u trodimenzionom prostoru je određen:

- pozicijom kamere,



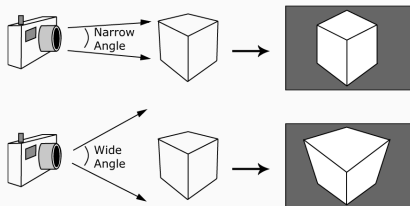
Položaj u trodimenzionom prostoru je određen:

- pozicijom kamere,
- smerom u kom kamera “gleda”, tzv. vektorom pogleda,



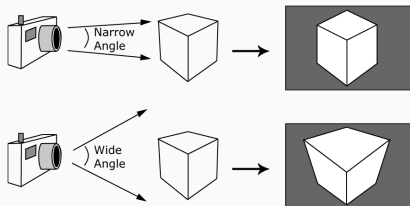
Položaj u trodimenzionom prostoru je određen:

- pozicijom kamere,
- smerom u kom kamera “gleda”, tzv. vektorom pogleda,
- vektorom usmerenim naviše u odnosu na kameru, kojim se zadaje orijentacija kamere.



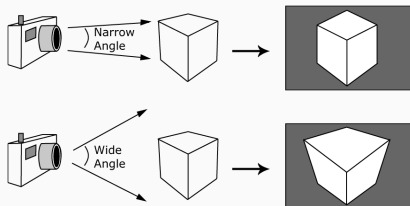
Slika 9: Različiti stepeni perspektivnog iskrivljenja u zavisnosti od veličine vidnog ugla (preuzeto sa slajdova Univerisity Brown).

- Koje vidno polje želimo da obuhvatimo na slici?



Slika 9: Različiti stepeni perspektivnog iskrivljenja u zavisnosti od veličine vidnog ugla (preuzeto sa slajdova Univerisity Brown).

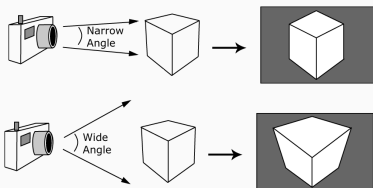
- Koje vidno polje želimo da obuhvatimo na slici?
- Čovek ima skromno vidno polje, čiji ugao iznosi samo par desetina stepeni.



Slika 9: Različiti stepeni perspektivnog iskrivljenja u zavisnosti od veličine vidnog ugla (preuzeto sa slajdova Univerisity Brown).

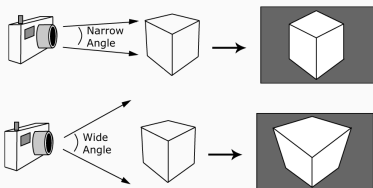
- Koje vidno polje želimo da obuhvatimo na slici?
- Čovek ima skromno vidno polje, čiji ugao iznosi samo par desetina stepeni.
- Što je veći ugao, to je i veće iskrivljenje slike.

Ugao kamere



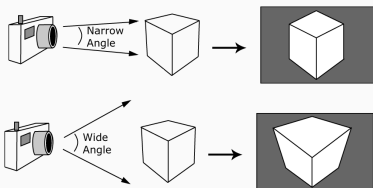
- Obično se ne razmatraju objekti koji su preblizu kameri jer bi zaklanjali druge objekte na sceni, i pritom imali visok stepen iskrivljenja.

Ugao kamere



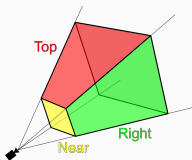
- Obično se ne razmatraju objekti koji su preblizu kameri jer bi zaklanjali druge objekte na sceni, i pritom imali visok stepen iskrivljenja.
- Ne razmatraju se ni objekti koji su predaleko od kamere jer nisu vizuelno značajni, a mogu da troše značajno vreme pri iscrtavanju scene.

Ugao kamere



- Obično se ne razmatraju objekti koji su preblizu kameri jer bi zaklanjali druge objekte na sceni, i pritom imali visok stepen iskrivljenja.
- Ne razmatraju se ni objekti koji su predaleko od kamere jer nisu vizuelno značajni, a mogu da troše značajno vreme pri iscrtavanju scene.
- Ova odsecanja se postižu **definisanjem prednje i zadnje ravni odsecanja**, koje su paralelne ravni projektovanja.

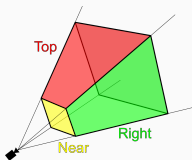
Zapremina pogleda



Slika 10: Zapremina pogleda.

- **Zapremina pogleda** je definisana svim parametrima kamere: ugao kamere, prednja i zadnja ravan, vektor kamere i orijentacija kamere.

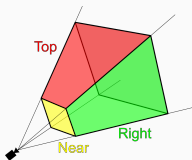
Zapremina pogleda



Slika 10: Zapremina pogleda.

- **Zapremina pogleda** je definisana svim parametrima kamere: ugao kamere, prednja i zadnja ravan, vektor kamere i orijentacija kamere.
- Samo objekti koji su potpuno u okviru pogleda se kompletno iscrtavaju.

Zapremina pogleda



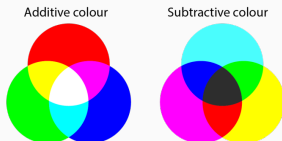
Slika 10: Zapremina pogleda.

- **Zapremina pogleda** je definisana svim parametrima kamere: ugao kamere, prednja i zadnja ravan, vektor kamere i orijentacija kamere.
- Samo objekti koji su potpuno u okviru pogleda se kompletno iscrtavaju.
- Za ostale objekte se rade aproksimacije, pa se može desiti da neki objekti 'iskoče' odjednom na ekranu.

Računarska grafika

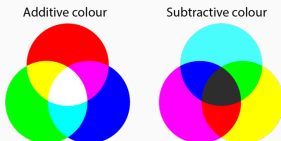
Boje

Boje – aditivno i subtraktivno mešanje



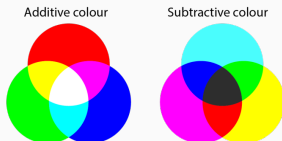
- Aditivno mešanje boja odgovara mešanju svetlosti, a subtraktivno mešanju farbi.

Boje – aditivno i subtraktivno mešanje



- Aditivno mešanje boja odgovara mešanju svetlosti, a subtraktivno mešanju farbi.
- U aditivnom mešanju boja se kreće od crne (odsustva svetla) i dodaju se različite boje svetlosti kako bi se dobile druge boje. Dakle, dodavanje više svetala rezultuje svetlijim bojama.

Boje – aditivno i subtraktivno mešanje



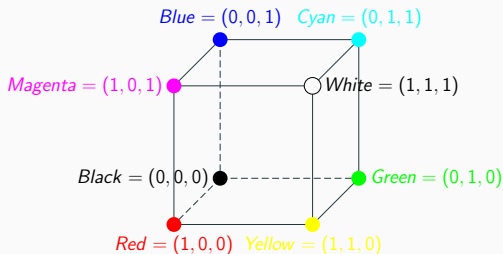
- Aditivno mešanje boja odgovara mešanju svetlosti, a subtraktivno mešanju farbi.
- U aditivnom mešanju boja se kreće od crne (odsustva svetla) i dodaju se različite boje svetlosti kako bi se dobile druge boje. Dakle, dodavanje više svetala rezultuje svetlijim bojama.
- Kod subtraktivnog mešanja boja se kreće od svetlosti bele boje (koja sadrži sve boje) i iz nje oduzimamo određene talasne dužine korišćenjem pigmenata koji apsorbuju neku svetlost, a ostalu reflektuju. Dakle u subtraktivnom mešanju boja se mešanjem većeg broja pigmenata dobija tamnija boja.

Kolor modeli

Načini na koje je moguće zadati boju. Primeri: RGB, HSV, HLS i CMY.

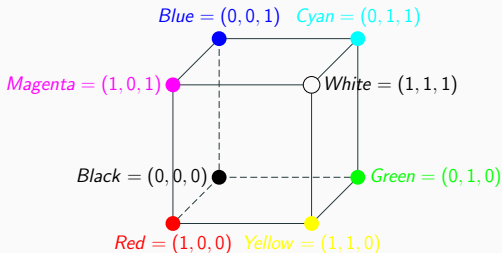
Svi kolor modeli su ograničeni, u smislu da mogu da opišu boje do određenog intenziteta.

Boje – RGB kolor model



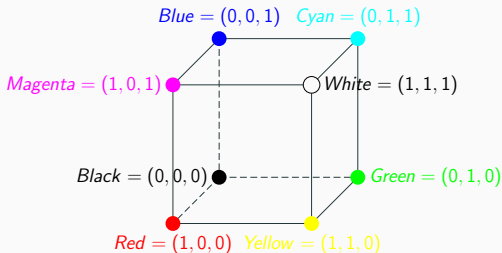
- Boje boje se predstavljaju kao kombinacija crvene (R), zelene (G) i plave (B) boje – opseg $[0, 1]$.

Boje – RGB kolor model



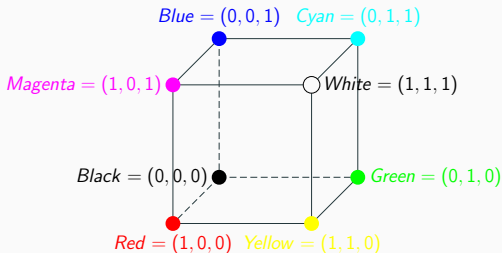
- Boje boje se predstavljaju kao kombinacija crvene (R), zelene (G) i plave (B) boje – opseg $[0, 1]$.
- (1, 0, 0) – crvena

Boje – RGB kolor model



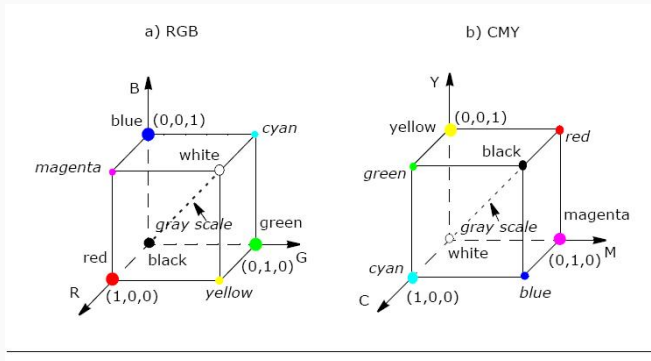
- Boje boje se predstavljaju kao kombinacija crvene (R), zelene (G) i plave (B) boje – opseg $[0, 1]$.
- (1, 0, 0) – crvena
- (1, 1, 1) – bela

Boje – RGB kolor model



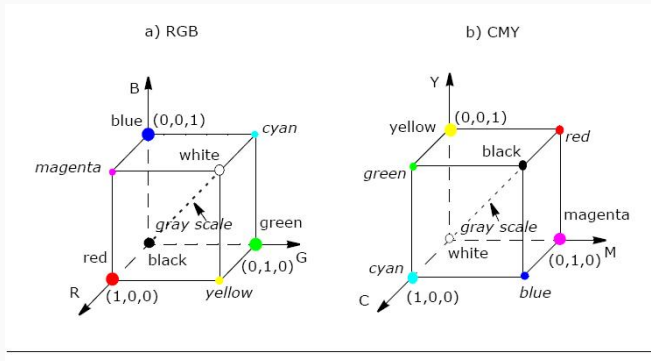
- Boje boje se predstavljaju kao kombinacija crvene (R), zelene (G) i plave (B) boje – opseg $[0, 1]$.
- (1, 0, 0) – crvena
- (1, 1, 1) – bela
- dijagonala – nijanse sive

Boje – CMY(K) kolor model



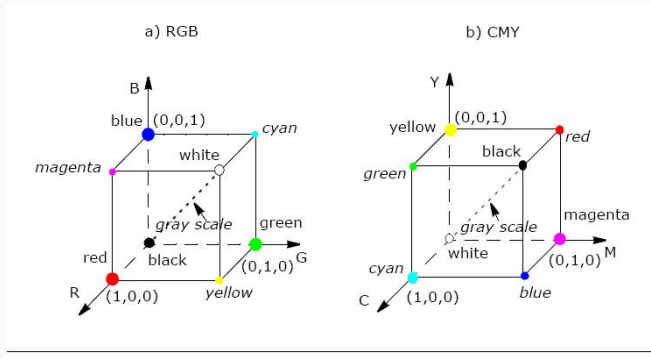
- Mešavine cijan (zeleno-plave), magenta (ljubičasto-crvene) i žute boje.

Boje – CMY(K) kolor model



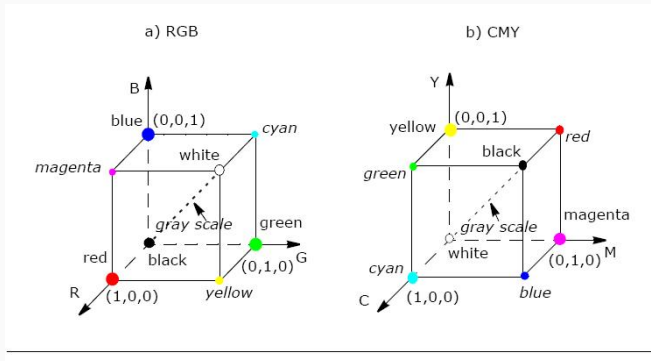
- Mešavine cijan (zeleno-plave), magenta (ljubičasto-crvene) i žute boje.
- Kada svetlost padne na pigment, deo svetlosti se apsorbuje, a deo se reflektuje.

Boje – CMY(K) kolor model



- Koristi se u štampanju, mada obično štampačiti imaju i dodatnu, crnu boju.

Boje – CMY(K) kolor model



- Koristi se u štampanju, mada obično štampačiti imaju i dodatnu, crnu boju.
- Kada se pomešaju dva mastila, svetlost koja se reflektuje je ona koju ne apsorbuje nijedna od njih. (primer: zelena = cijan * magenta)

Računarska grafika

Teksture

- Modelovanje Velike Keopsove piramide?

- Modelovanje Velike Keopsove piramide?
- Preslikavanjem tekstura moguće je tokom procesa iscrtavanja (a ne modelovanja) povećati nivo detaljnosti scene bez uvećanja broja iscrtanih primitiva.

- Modelovanje Velike Keopsove piramide?
- Preslikavanjem tekstura moguće je tokom procesa iscrtavanja (a ne modelovanja) povećati nivo detaljnosti scene bez uvećanja broja iscrtanih primitiva.
- Nanošenje tekstura na površinu objekta se realizuje pomoću boja, tako što se svakoj tački površi dodeli određena vrednost.

- Modelovanje Velike Keopsove piramide?
- **Preslikavanjem tekstura** moguće je tokom procesa iscrtavanja (a ne modelovanja) povećati nivo detaljnosti scene bez uvećanja broja iscrtanih primitiva.
- Nanošenje tekstura na površinu objekta se realizuje pomoću boja, tako što se svakoj tački površi dodeli određena vrednost.
- **Teksturane koordinate** – u i v koje uzimaju vrednosti iz intervala $[0, 1]$. To su tačke sa slike teksture koju referišemo korišćenjem ovih koordinata. Moramo imati koordinatni sistema u kom možemo da referišemo na pozicije sa slike teksture.

- Svakom temenu mreže trouglova pridružiti teksturne koordinate u i v .

- Svakom temenu mreže trouglova pridružiti teksturne koordinate u i v .
- Ako temena trougla označimo sa A , B i C , tada proizvoljnu tačku P trougla ABC možemo predstaviti kao konveksnu linearnu kombinaciju temena trougla, odnosno u obliku $\alpha A + \beta B + \gamma C$, gde je $\alpha + \beta + \gamma = 1$ i $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$.

- Svakom temenu mreže trouglova pridružiti teksturne koordinate u i v .
- Ako temena trougla označimo sa A , B i C , tada proizvoljnu tačku P trougla ABC možemo predstaviti kao konveksnu linearnu kombinaciju temena trougla, odnosno u obliku $\alpha A + \beta B + \gamma C$, gde je $\alpha + \beta + \gamma = 1$ i $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$.
- Tačke kod kojih važi $\alpha = 0$ leže na stranici BC , tačke kod kojih važi $\beta = 0$ leže na stranici AC , dok tačke kod kojih važi $\gamma = 0$ leže na stranici AB trougla.

- Svakom temenu mreže trouglova pridružiti teksturne koordinate u i v .
- Ako temena trougla označimo sa A , B i C , tada proizvoljnu tačku P trougla ABC možemo predstaviti kao konveksnu linearnu kombinaciju temena trougla, odnosno u obliku $\alpha A + \beta B + \gamma C$, gde je $\alpha + \beta + \gamma = 1$ i $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$.
- Tačke kod kojih važi $\alpha = 0$ leže na stranici BC , tačke kod kojih važi $\beta = 0$ leže na stranici AC , dok tačke kod kojih važi $\gamma = 0$ leže na stranici AB trougla.
- Brojeve α, β, γ nazivamo **baricentričnim koordinatama** tačke P u odnosu na trougao ABC i pišemo $P = \alpha A + \beta B + \gamma C$.

Računarska grafika

Algoritmi za utvrđivanje vidljivosti

- Osnovni zadatak računarske grafike jeste utvrđivanje koji su objekti sa scene vidljivi.

- Osnovni zadatak računarske grafike jeste **utvrđivanje koji su objekti sa scene vidljivi**.
- Neki se nalaze van zapremine pogleda.

- Osnovni zadatak računarske grafike jeste **utvrđivanje koji su objekti sa scene vidljivi**.
- Neki se nalaze van zapremine pogleda.
- Neki su zaklonjeni drugim objektima.

- Osnovni zadatak računarske grafike jeste **utvrđivanje koji su objekti sa scene vidljivi**.
- Neki se nalaze van zapremine pogleda.
- Neki su zaklonjeni drugim objektima.
- Neki su zaklonjeni drugim poligonima.

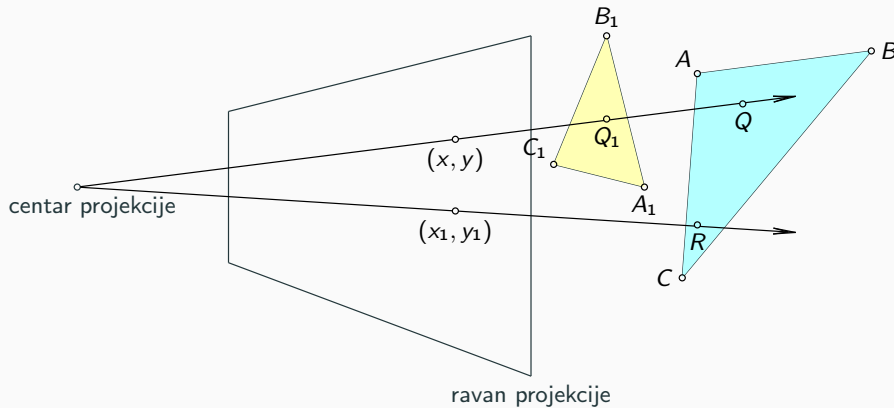
- z-bafera – bafera dubine.

- **z-bafera** – bafera dubine.
- Na početku algoritma se sve vrednosti u kolor baferu inicijalizuju na boju pozadine, dok se sve vrednosti u z-baferu inicijalizuju na z-koordinatu zadnje ravni odsecanja (kao najudaljenije tačke prostora koju kamera razmatra).

- **z-bafera** – bafera dubine.
- Na početku algoritma se sve vrednosti u kolor baferu inicijalizuju na boju pozadine, dok se sve vrednosti u z-baferu inicijalizuju na z-koordinatu zadnje ravni odsecanja (kao najudaljenije tačke prostora koju kamera razmatra).
- Na sve trouglove kojima je predstavljena scena primenjuje se algoritam rasterizacije. Redosled u kome se trouglovi obrađuju je proizvoljan.

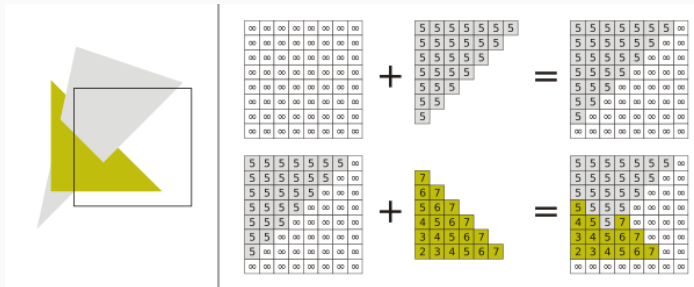
- **z-bafera** – bafera dubine.
- Na početku algoritma se sve vrednosti u kolor baferu inicijalizuju na boju pozadine, dok se sve vrednosti u z-baferu inicijalizuju na z-koordinatu zadnje ravni odsecanja (kao najudaljenije tačke prostora koju kamera razmatra).
- Na sve trouglove kojima je predstavljena scena primenjuje se algoritam rasterizacije. Redosled u kome se trouglovi obrađuju je proizvoljan.
- Prilikom procesa rasterizacije, ako je dubina d tačke trougla koja se projektuje u piksel (x, y) manja od vrednosti koja se trenutno nalazi u z-baferu za dati piksel (ako je nova vrednost bliža), onda se u z-bafer za piksel (x, y) upisuje dubina d , a u kolor bafer boja tačke poligona koji se rasterizuje u piksel (x, y) .

z-bafer algoritam



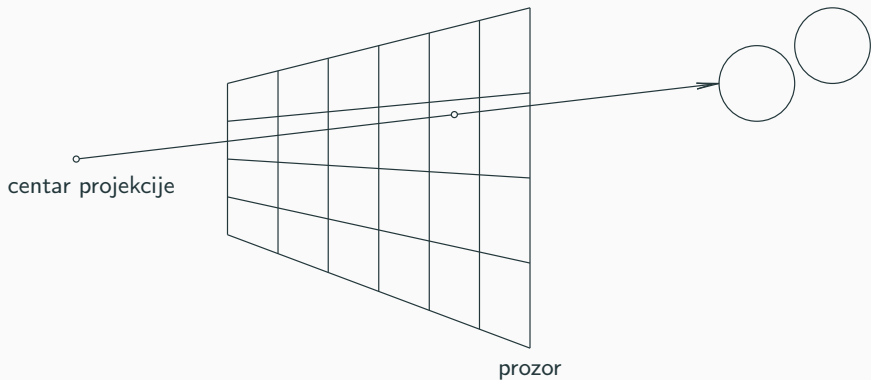
Slika 11: Ilustracija z-bafer algoritma.

z-bafer algoritam



Slika 12: Ilustracija menjanja vrednosti u z-baferu.

Rej kasting algoritam



Slika 13: Ilustracija rej kasting algoritma.

Računarska grafika

Osvetljenje i senčenje

Problem *osvetljenja* (engl. illumination) odnosi se na izračunavanje intenziteta i boje pojedinačne tačke sa površi na sceni onako kako je posmatrač doživljava, simuliranjem atributa svetlosti.

Problem *senčenja* (engl. shading) primenjuje model osvetljenja na skup tačaka i boji/osvetljava kompletnu površ.

- Svaka tačka sa površine objekta prima svetlost **direktno** od izvora svetla koji nisu blokirani drugim objektima.

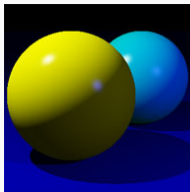
- Svaka tačka sa površine objekta prima svetlost **direktno** od izvora svetla koji nisu blokirani drugim objektima.
- Svaka tačka sa površine objekta prima svetlost **indirektno** od svetlosti koja dolazi od drugih objekata na sceni nakon refleksije i prelamanja svetlosti.

Udeo svetlosti koji dopire do objekta a koji će dalje biti reflektovan, kao i način na koji će ta svetlost biti reflektovana u mnogome zavisi od glatkosti površi.

- **Spekularna refleksija** – kod glatkih površi poput ogledala ili mirne površine vode.

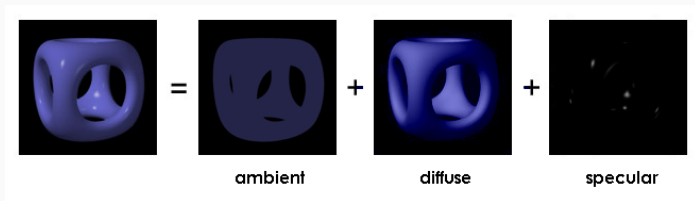
Udeo svetlosti koji dopire do objekta a koji će dalje biti reflektovan, kao i način na koji će ta svetlost biti reflektovana u mnogome zavisi od glatkosti površi.

- **Spekularna refleksija** – kod glatkih površi poput ogledala ili mirne površine vode.
- **Difuzna refleksija** – kod grubih površi poput zida ili glinene saksijeglinene saksije



Slika 14: Efekat spekularne refleksije na sjajnim sferama (preuzeto sa Vikipedije).

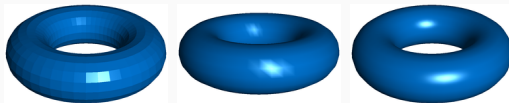
Problem osvetljenosti



Slika 15: Prikaz doprinosa ambijentalne, difuzne i spekularne komponente osvetljenosti ukupnoj osvetljenosti (preuzeto sa Vikipedije).

Problem senčenja

- Jako skupo — svaka površ se može senčiti tako što se u svakoj tački površi primeni odgovarajući model osvetljenja.
- Primenjuju se drugi modeli:



Slika 16: Razlika između ravanskog, interpoliranog i Fongovog senčenja.

Računarska vizija

Računarska vizija (engl. computer vision) je oblast veštačke inteligencije koja se bavi razvojem tehnika koje omogućavaju računarima da „vide“, tj. razumeju i interpretiraju sadržaj slika i video snimaka. Ono može uključivati generisanje tekstualnog opisa slike, detekcija objekata, generisanje trodimenzionalnog modela itd.

- klasifikacija slika: prepoznavanje specifičnih pojmova na slici, poput lica, saobraćajnih znakova i sl;

- klasifikacija slika: prepoznavanje specifičnih pojmova na slici, poput lica, saobraćajnih znakova i sl;
- detekcija objekata na slici: lociranje objekata unutar slike ili video materijala;

- klasifikacija slika: prepoznavanje specifičnih pojmova na slici, poput lica, saobraćajnih znakova i sl;
- detekcija objekata na slici: lociranje objekata unutar slike ili video materijala;
- segmentacija slike: podela slike na veći broj segmenata, pri čemu svaki segment odgovara drugom objektu ili regionu.

- U robotici.

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.
- Računarske igre.

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.
- Računarske igre.
- Prepoznavanje lica.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.
- Računarske igre.
- Prepoznavanje lica.
- Prepoznavanje registarskih tablica.

Primene računarske vizije

- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.
- Računarske igre.
- Prepoznavanje lica.
- Prepoznavanje registarskih tablica.
- Prepoznavanje izraza lica.

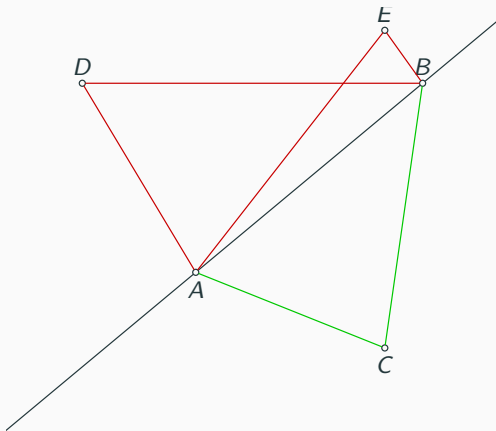
- U robotici.
- Aplikacije Zoom, Teams, Skype i sl.
- Autonomna vozila.
- Medicinsko snimanje.
- Sistemi za nadzor.
- Računarske igre.
- Prepoznavanje lica.
- Prepoznavanje registarskih tablica.
- Prepoznavanje izraza lica.
- Prepoznavanje objekata.

Računarska geometrija

Računarska geometrija

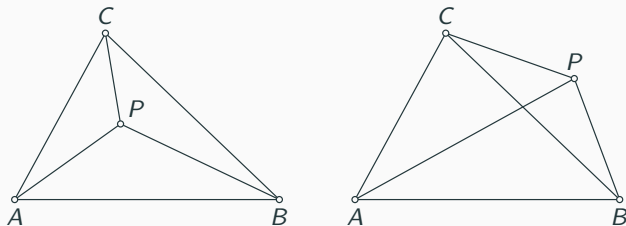
Predstavlja oblast računarstva koja se bavi dizajnom i analizom efikasnih algoritama i struktura podataka za rešavanje geometrijskih problema, uobičajeno u ravni ili trodimenzionalnom prostoru.

Ispitivanje položaja tačke u odnosu na pravu

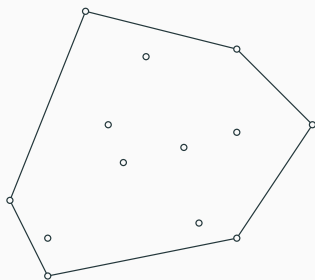


Slika 17: Tačke D i E se nalaze sa leve strane zraka AB , dok se tačka C nalazi sa desne strane.

Ispitivanje položaja tačke u odnosu na mnogougao



Slika 18: Situacija kada tačka P pripada i kada ne pripada trouglu ABC .



Slika 19: Konveksni omotač datog skupa tačaka.

<https://ermel272.github.io/convex-hull-animations/>

Voronoi diagram

<https://cfbrasz.github.io/Voronoi.html>

<https://github.com/miyu/voronoi?tab=readme-ov-file>

- Računarske igre.
- Simulacije.
- Robotika.
- U geografskim informacionim sistemima (engl. geographic information system, GIS).

Robotika

Robotika

Robotika (engl. robotics) je naučna disciplina koja se bavi dizajnom, konstrukcijom i primenom robota, kao i razvojem računarskih sistema za njihovu kontrolu i obradu prikupljenih podataka.

Robotika

Robotika (engl. robotics) je naučna disciplina koja se bavi dizajnom, konstrukcijom i primenom robota, kao i razvojem računarskih sistema za njihovu kontrolu i obradu prikupljenih podataka.

Robot

Roboti su mašine programirane da samostalno ili uz malu pomoć čoveka izvršavaju različite zadatke, kao što su usisavanje kuće ili snimanje okoline iz vazduha.

- industrijske robote

Razne vrste podela robota

- industrijske robote
- autonomne robote

Razne vrste podela robota

- industrijske robote
- autonomne robote
- humanoidni roboti

Razne vrste podela robota

- industrijske robote
- autonomne robote
- humanoidni roboti
- kolaborativni roboti – koboti



Slika 20: Humanoidni robot TOPIO igra stoni tenis na internacionalnoj izložbi robota IREX 2009. (preuzeto sa <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>).

Robotika

Komponente robota

Tri ključne komponente robota:

- mehanička struktura robota,

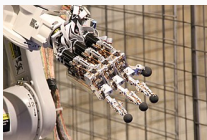
Tri ključne komponente robota:

- mehanička struktura robota,
- električne komponente robota,

Tri ključne komponente robota:

- mehanička struktura robota,
- električne komponente robota,
- softver.

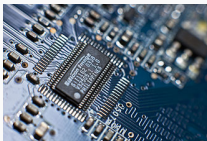
Mehanička konstrukcija robota uključuje dizajniranje okvira, odnosno strukture prilagođene za obavljanje određenog zadatka, u skladu sa fizičkim karakteristikama okruženja.



Slika 21: Mehnička šaka robota.

Električne komponente

Električne komponente obezbeđuju snagu i kontrolu koje su neophodne za funkcionisanje robota.



Slika 22: Integrisano električno kolo (preuzeto sa <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>).

Softver predstavlja srž robota koji obezbeđuje da on ispravno autonomno ili poluautonomno izvršava zadatak za koji je predviđen. On integriše različite tehnologije i kombinuje algoritme veštačke inteligencije, računarske geometrije i specijalizovane algoritme.

- sensori

- senzori
- attuatori

Robotika

Primene robotike

- industrijska automatizacija

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika
- autonomna vozila

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika
- autonomna vozila
- istraživanje svemira

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika
- autonomna vozila
- istraživanje svemira
- poljoprivreda

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika
- autonomna vozila
- istraživanje svemira
- poljoprivreda
- vojska i odbrana

- industrijska automatizacija
- pomcni uređaji u domaćinstvu
- medicinska robotika
- autonomna vozila
- istraživanje svemira
- poljoprivreda
- vojska i odbrana
- zabava i umetnost



Slika 23: Robotičari sa tri rovera za istraživanje na Marsu.