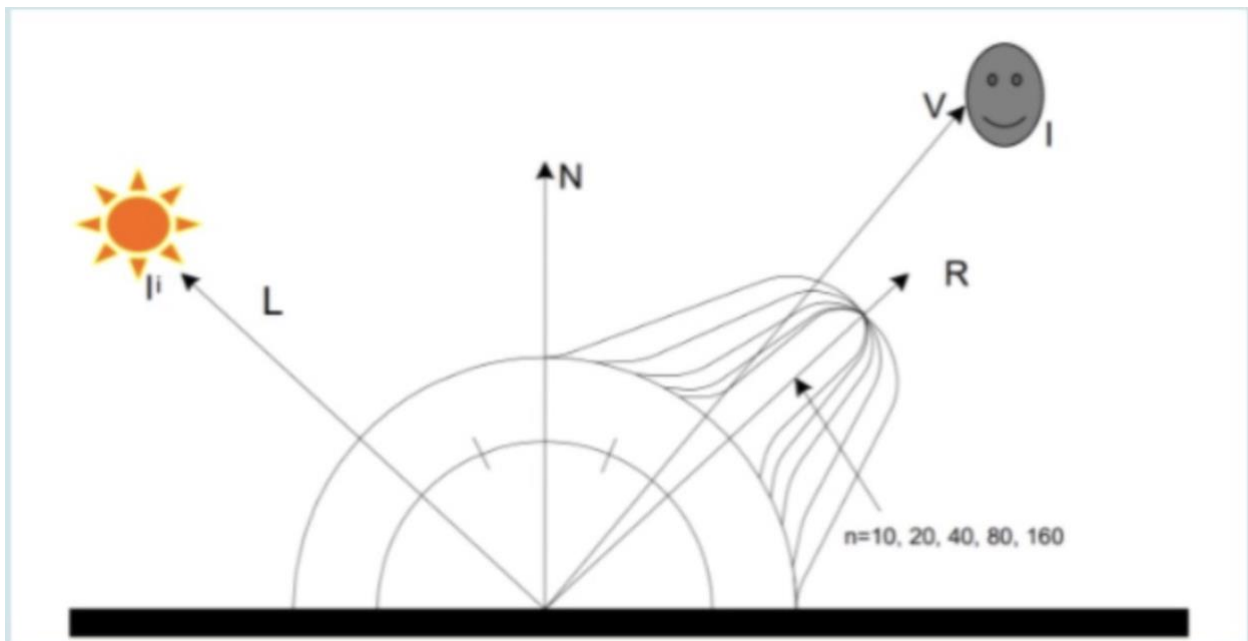


1. Detaljno objasni model phongovog osvjetljenja (formula i skice). (3 boda)

Phongov model osvjetljenja najcesce je koristen model za grafiku u stvarnom vremenu. On modelira difuzno i spekularno odbijanje te globalno osvjetljenje. Jednostavan je za racunanje i ima dobru aproksimaciju. Sastoji se od zbroja:

- Difuzne komponente
 - o opisana Lambertovim zakonom koji opisuje difuzno odbijanje. Proporcionalna je intenzitetu izvora i difuznom koeficijentu materijala K_d
 - o $I_d = I_i * k_d (L \cdot N)$
- Ambijentna komponenta
 - o karakteriziraju ju intenzitet I_a te ambijentni koeficijent materijala K_a te vektori boje (RGB)
 - o $I_A = I_a * k_a$
- Spekularna komponenta
 - o aproksimira spekularni odsjaj na predmetu. Proporcionalna je intenzitetu izvora i spekularnom koeficijentu materijala K_s
 - o $I_s = I_i * k_s (R \cdot V)^n$
- Formula za Phongov model osvjetljenja:
 - o $I = I_A + I_d + I_s = I_a * k_a + I_i * k_d (L \cdot N) + I_i * k_s (R \cdot V)^n$



2. Definiraj smik, translaciju, skaliranje i rotaciju, te ispiši matrične 2D oblike (Px, Py) (4boda)

Translacija = pravocrtno pomicanje točke ili objekta na ravni ili u prostoru.

Translacija točke P za vektor $T = [T_x \ T_y]$: $P = [P_x \ P_y] \rightarrow P' = [P_x + T_x \ P_y + T_y]$

Rotacija = okretanje točke ili objekta oko ishodišta za kut alfa.

Rotacija točke P oko (0,0) za kut α : $P = [P_x \ P_y] \rightarrow P' = [P_x \cdot \cos(\alpha) - P_y \cdot \sin(\alpha) \quad P_x \cdot \sin(\alpha) + P_y \cdot \cos(\alpha)]$

Skaliranje = množenje točke s faktorom skaliranja S.

Skaliranje objekta faktorom $S = [S_x \ S_y]$: $P = [P_x \ P_y] \rightarrow P' = [P_x \cdot S_x \ P_y \cdot S_y]$

Smik = deformacija objekta uzduž koordinatnih osi (pravokutnik postaje paralelogram, a krug postaje elipsa).

Smik objekta po x-osi u ovisnosti o faktoru k_x : $P = [P_x \ P_y] \rightarrow P' = [P_x + k_x \cdot P_y \quad P_y]$

Smik objekta po y-osi u ovisnosti o faktoru k_y : $P = [P_x \ P_y] \rightarrow P' = [P_x \quad P_x \cdot k_y + P_y]$

*2D TRANSFORMACIJE: \rightarrow redoslijed obavljanja transformacija: 1. translacija u (0, 0), 2. skaliranje, 3. rotacija, 4. translacija u točku (x, y)

- TRANSLACIJA:

1 0 0

0 1 0

$T_x \ T_y \ 1$

translacija točke P za vektor $T = [T_x \ T_y]$: $P' = P * T$

- ROTACIJA:

$\cos(\alpha) \ -\sin(\alpha) \ 0$

$\sin(\alpha) \ \cos(\alpha) \ 0$

0 0 1

rotacija točke P oko (0,0) za kut α : $P' = P * R$

-PROMJENA VELIČINE:

$S_x \ 0 \ 0$

0 $S_y \ 0$

0 0 1

SKALIRANJE objekta faktorom $S = [S_x \ S_y]$: $P' = P * S$

- 2D SMIK:

1 k 0

0 1 0

smik po x-osi za faktor k: $P' = P * S_h$

3. Definiraj homogene koordinate, objasnite za što se koriste. Objasni translaciju u 3D pomoću homogenih koordinata (matrice) (3 boda)

Homogene koordinate P_x i P_y služe nam za prikaz 2D točke uređenom trojkom $[P_x, P_y, w]$ i prikaz 3D točke uređenom četvorkom $[P_x, P_y, P_z, w]$, gdje je w = faktor proporcionalnosti (za naše potrebe $w = 1$).

Omogućuju nam prikaz transformacija pomoću matrica. Te matrice 4x4 su karakteristične za svaku od transformacije koju opisuje.

Koriste se tako da se matrice kombiniraju i množe (translacija, rotacija, promjena veličine, smik i kombinacija). Množenje matrica nije komutativno ($T1R1 \neq R1T1$).

Transformacija predmeta zahtijeva transformaciju svakog vrha $P = [P_x \ P_y \ P_z] \rightarrow P' = [P'_x, P'_y, P'_z]$

2D: $P = [P_x/w \ P_y/w] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ w]$

$W = 1 : P = [P_x \ P_y] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ 1]$

3D: $P = [P_x/w \ P_y/w \ P_z/w] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ P_z \ w]$

$W = 1 : P = [P_x \ P_y \ P_z] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ P_z \ 1]$

4. Objasni kako bi rotirao neš oko osi r za kut FI (3 boda)

Uzmimo kocku sa svojim lokalnim koordinatnim sustavom u globalnom koordinatnom sustavu. Najprije treba rotacijom i translacijom transformirati lokalni koordinatni sustav kocke tako da se os r poklopi sa osi x globalnog sustava. Zatim, rotirati za kut FI i konačno primijeniti inverznu transformaciju prve transformacije tj. vratiti kocku u početnu točku.

Ukupna transformacija: $R_{r,FI} = M R_x(FI) M^{-1} = M R_x(FI) M^T$

5. Objasni ortografsku i perspektivnu projekciju te kad su jednake i njihove matrice. (4boda)

Projekcije su posebne vrste transformacije.

Ortografska projekcija: možemo ju zamisliti kao sjenu koju baca objekt osvijetljen točkastim izvor svjetlosti smješten u beskonačnosti. Dakle, zrake svjetlosti koje baca su paralelne. Slika se projicira na unaprijed određenu ravninu u koordinatnom sustavu.

Perspektivna projekcija: za razliku od ortografske projekcije uzima u obzir činjenicu da su predmeti koji su udaljeni manji od onih koji su bliže kameri. Ovdje zrake izvora nisu paralelne kao kod ortografske projekcije, osim kada bi se taj izvor nalazio u beskonačnosti. U tom slučaju ortografska i perspektivna projekcija daju jednak rezultat.

Jednake su kada se izvor svjetlosti nalazi u beskonačnosti.

6. Objasni obujmice i za što se koriste te nabroji par primjera (3 boda)

Obujmica je jednostavan geometrijski oblik koji obuhvaća složeniji geometrijski skup. Obujmice služe za aproksimaciju složenog predmeta jednostavnijim predmetom radi lakše manipulacije (obično ispitivanja presjeka).

Primjeri obujmica su: kugla, elipsoid, kvadar paralelan s osima, općeniti kvadar, konveksna ljuska.

7. Objasni princip praćenja zrake (3 boda)

Princip praćenja zrake je tehnika u računalnoj grafici koja simulira put svjetlosti u prostoru kako bi stvorila fotorealistične slike. Zrake se šalju kroz svaki piksel na zaslonu, prateći njihov put kroz scenu. Zrake interagiraju s objektima na putu, odražavaju se, upijaju ili lome, a zatim se dalje prate rekurzivno.

Osvjetljenje se računa na točkama presjeka zrake s objektima, a zatim se zbraja doprinosi osvjetljenja iz svih presjecišta. Rezultat je slika koja prikazuje refleksije, sjene i transparentnost, što daje fotorealističan dojam. Najčešće se koristi u offline grafici zbog intenzivnog računanja što bi bilo jako sporo za grafiku u stvarnom vremenu.

8. Nabroji faze grafičkog podsustava (vodoprotlačnog...) te ukratko objasni svaku od njih (4 boda)

Faze grafičkog protlačnog podsustava (GPS) uključuju aplikacijsku fazu, geometrijsku fazu i fazu rasteriziranja.

Aplikacijska faza priprema elemente za iscrtavanje i obavlja operacije kao što su logika aplikacije, animacija i detekcija sudara.

Geometrijska faza se izvodi na GPU-u i obuhvaća transformaciju objekata u 2D koordinate za iscrtavanje na zaslonu.

Uključuje transformacije u kamernom koordinatnom sustavu, sjenčanje vrhova, projekciju, obrezivanje i preslikavanje na zaslon.

Faza rasteriziranja dodaje boje i teksture objektima te određuje vidljivost objekata. Uključuje pripremu trokuta, prolaz kroz trokute, sjenčanje i stapanje boja. Tijekom rasterizacije se određuje koje točke zaslona trokut prekriva i interpolira se podatke iz vrhova trokuta kako bi se generirao fragment, odnosno točka na zaslonu. Boja se stapa i upisuje u spremnik boje, pri čemu se koriste rasterske operacije i Z-spremnik za određivanje vidljivosti objekata.

9. Objasni princip Z-spremnika (3 boda)

Princip Z-spremnika je tehnika u računalnoj grafici koja se koristi za rješavanje problema preklapanja i određivanja vidljivosti objekata na zaslonu. Z-spremnik je memorijski spremnik koji pohranjuje vrijednosti dubine (Z-koordinate) fragmenata tijekom procesa rasterizacije. Pri svakom novom fragmentu, njegova Z-koordinata se uspoređuje s vrijednošću u Z-spremniku. Ako je nova Z-vrijednost manja, fragment se prihvaća i ažurira se vrijednost u Z-spremniku. Ova tehnika osigurava ispravno prikazivanje vidljivih objekata na zaslonu i sprječava preklapanje objekata.

10. (Anti)aliasing u kontekstu vektorske grafike objasni te kako se ispravlja (3boda)

Aliasing je neželjeni efekt koji se javlja zbog uzorkovanja nekog signala nedovoljnom frekvencijom. Očituje se stepeničastim, nazubljenim rubovima objekta na mjestima gdje bi trebala biti glatki, a ispravlja se tehnikama antialiasinga. Antialiasing radi po principu višestrukog uzorkovanja. Umjesto uzimanja određenog piksela, antialiasingom uzimamo i nekoliko okolnih slikovnih elemenata koji se onda zajedno interpoliraju. Rezultat je „ispravljeni“ slikovni element koji ne rezultira aliasingom.

MI 2021

1. U kojoj se od osnovnih faza grafičkog protočnog sustava obavlja preslikavanje tekstura?

U fazi rasteriziranja

2. Koja je razlika između razdjelnih i brišućih ploha

Razdjelne i brišuće plohe su dvije različite tehnike za održavanje vidljivosti objekata u računalnoj grafici.

Razdjelne plohe (eng. clipping planes) se koriste za odsijecanje dijelova objekata koji se nalaze izvan određenog volumena prostora, što rezultira prikazom samo vidljivih dijelova objekata unutar tog volumena.

Brišuće plohe (eng. occlusion planes) se koriste za eliminiranje skrivenih površina objekata koje su potpuno prekrivene drugim objektima. Brišuće plohe se koriste kako bi se izbjeglo nepotrebno crtanje i računanje skrivenih dijelova objekata koji neće biti vidljivi na zaslonu.

3. Objasnite ortografsku i perspektivnu projekciju. Za svaku napišite matricu kojom se ta projekcija izražava.

Projekcije su posebne vrste transformacije.

Ortografska projekcija: možemo ju zamisliti kao sjenu koju baca objekt osvijetljen točkastim izvor svjetlosti smješten u beskonačnosti. Dakle, zrake svjetlosti koje baca su paralelne. Slika se projicira na unaprijed određenu ravninu u koordinatnom sustavu.

Perspektivna projekcija: za razliku od ortografske projekcije uzima u obzir činjenicu da su predmeti koji su udaljeni manji od onih koji su bliže kameri. Ovdje zrake izvora nisu paralelne kao kod ortografske projekcije, osim kada bi se taj izvor nalazio u beskonačnosti. U tom slučaju ortografska i perspektivna projekcija daju jednak rezultat.

Jednake su kada se izvor svjetlosti nalazi u beskonačnosti.

4. Objasnite postupak rekurzivne podjele volumena prilikom korištenja metode oktalnog stabla.

Oktalno stablo metoda je automatskog stvaranja hijerarhijske strukture od nestrukturirane scene (tzv. juhe poligona). Oktalno stablo „razrezuje“ scenu po sredini koristeći 3 ravnine i time stvara 8 volumno jednakih dijelova scene. Zatim svaki dio rekurzivno dijeli na opisani način. Rekurzija staje kad je promatrani djelić potpuno prazan, sadrži dovoljno malo poligona (često 1) da ga je nepotrebno dalje dijeliti, ili kad je veličina promatranog dijela manja od unaprijed zadanog praga.

5. Sto su to sustavi cestica? Navedite tri primjera efekta koje možemo ostvariti korištenjem sustava cestica.

To su fizikalna simulacija velikog broja jednostavnih čestica. Svaka čestica se prikazuje točkom, crticom ili slično. Najzanimljivije svojstvo je svojstvo dinamičnosti. Parametri su položaj, boja i oblik. Korisno je za simulaciju prirodnih pojava (vodopad, vatra, dim).

6. Koja formula opisuje difuznu komponentu prema Phongovom modelu odbijanja svjetlosti?

$$I_d = I_i * k_d (L * N)$$

7. Koje od navedenog nije svojstvo 3D računalne grafike u stvarnom vremenu?

Brzina iscrtavanja od 30 do 60 slika u sekundi

8. Ukratko opišite postupak praćenja zrake (eng. Raytracing)

Princip praćenja zrake je tehnika u računalnoj grafici koja simulira put svjetlosti u prostoru kako bi stvorila fotorealistične slike. Zrake se šalju kroz svaki piksel na zaslonu, prateći njihov put kroz scenu. Zrake interagiraju s objektima na putu, odražavaju se, upijaju ili lome, a zatim se dalje prate rekurzivno. Osvjetljenje se računa na točkama presjeka zrake s objektima, a zatim se zbrajaju doprinosi osvjetljenja iz svih presjecišta. Rezultat je slika koja prikazuje refleksije, sjene i transparentnost, što daje fotorealističan dojam. Najcesce se koristi u offline grafici zbog intenzivnog racunanja sto bi bilo jako sporo za grafiku u stvarnom vremenu.

9. Sto je to fragment? Navedite tri primjera podataka koje može sadržavati.

Fragment je pojedinačna točka na zaslonu koja se generira tijekom faze rasterizacije u računalnoj grafici. Primjeri podataka koje fragment može sadržavati uključuju:

- Koordinate (x, y) na zaslonu, koje određuju položaj fragmenta.
- Boju fragmenta, izračunanu na temelju sjenčanja, tekstura ili drugih postupaka obrade.
- Dubinu fragmenta (Z-koordinatu), koja se koristi za određivanje vidljivosti objekata i rješavanje preklapanja.

10. Što je to obrezivanje? Opišite Sutherland-Hodgeman algoritam.

Obrezivanje (eng. clipping) je tehnika u računalnoj grafici koja se koristi za uklanjanje dijelova objekata koji su izvan vidljivog volumena ili prostora kako bi se optimiziralo iscrtavanje i povećala učinkovitost.

Sutherland-Hodgeman algoritam je tehnika obrezivanja poligona koja se koristi u računalnoj grafici. Algoritam se sastoji od nekoliko koraka: podjela poligona na bridove, provjera vidljivosti svakog segmenta u odnosu na obrezne linije (clipping planes) i generiranje novih segmenata koji predstavljaju presjek poligona i obreznih linija. Ovaj postupak se ponavlja za svaku obreznju liniju kako bi se dobio konačni obrezani poligon. Sutherland-Hodgeman algoritam koristi ideju praćenja bridova i izračunavanja presjeka kako bi se smanjio broj točaka koje se moraju dalje obraditi i iscrtati. Ova tehnika je korisna za izbacivanje dijelova poligona koji su izvan vidljivog područja ili granica, čime se poboljšava učinkovitost iscrtavanja.

11. U kojoj se od osnovnih faza grafičkog protočnog sustava obavlja sjenčanje vrhova?

U geometrijskoj fazi.

12. Objasnite što su to Quaternioni i čemu služe? Dodatno, navedite koje su njihove prednosti nad Eulerovim kutovima.

Quaternioni su matematička struktura koja se koristi za opisivanje rotacija u 3D prostoru. Sastoje se od četiri komponente (realni dio i troje imaginarnih dijelova) i omogućuju efikasno i jednostavno predstavljanje i manipulaciju rotacijama.

Pružaju prednosti u odnosu na Eulerove kutove, uključujući rješavanje problema gimbal locka i jednostavnije operacije s rotacijama

13. Koja od navedenih funkcijskih faza ne pripada fazi rasteriziranja?

Preslikavanje na ekran

14. Ukratko opišite ambijentu komponentu osvjetljivanja. Kako je ona definirana prema formuli Phongovog modela odbijanja svjetlosti?

Ambijentna komponenta

- karakteriziraju ju intenzitet I_a te ambijentni koeficijent materijala K_a te vektori boje (RGB)
- $I_A = I_a * k_a$

15. Koja vrsta izvora svjetlosti dobro aproksimira sunčevu svjetlost?

Usmjereno svjetlo.

16. Objasnite princip homogenih koordinata i navedite primjer za točku P definiranu homogenim koordinatama u 3D prostoru.

Homogene koordinate P_x i P_y služe nam za prikaz 2D točke uređenom trojkom $[P_x, P_y, w]$ i prikaz 3D točke uređenom četvorkom $[P_x, P_y, P_z, w]$, gdje je w = faktor proporcionalnosti (za naše potrebe $w = 1$). Omogućuju nam prikaz transformacija pomoću matrica. Te matrice 4×4 su karakteristične za svaku od transformacije koju opisuje.

Koriste se tako da se matrice kombiniraju i množe (translacija, rotacija, promjena veličine, smik i kombinacija). Množenje matrica nije komutativno ($T_1 R_1 \neq R_1 T_1$).

Transformacija predmeta zahtijeva transformaciju svakog vrha $P = [P_x \ P_y \ P_z] \rightarrow P' = [P'_x, P'_y, P'_z]$

2D: $P = [P_x/w \ P_y/w] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ w]$

$W = 1 : P = [P_x \ P_y] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ 1]$

3D: $P = [P_x/w \ P_y/w \ P_z/w] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ P_z \ w]$

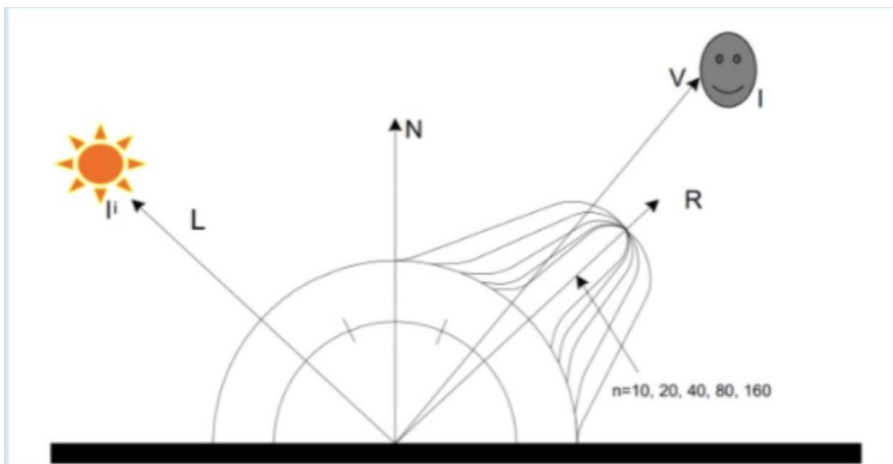
$W = 1 : P = [P_x \ P_y \ P_z] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ P_z \ 1]$

MI 2023

1. Napišite matricni izraz za Phongov model odbijanja svjetlosti. Navedite i ukratko opisite njegove 3 komponente (4 boda)

Phongov model osvjetljenja najcesce je koristen model za grafiku u stvarnom vremenu. On modelira difuzno i spekularno odbijanje te globalno osvjetljenje. Jednostavan je za racunanje i ima dobru aproksimaciju. Sastoji se od zbroja:

- Difuzne komponente
 - o opisana Lambertovim zakonom koji opisuje difuzno odbijanje. Proporcionalna je intenzitetu izvora i difuznom koeficijentu materijala K_d
 - o $I_d = I_i \cdot k_d (L \cdot N)$
- Ambijentna komponenta
 - o karakteriziraju ju intenzitet I_a te ambijentni koeficijent materijala K_a te vektori boje (RGB)
 - o $I_A = I_a \cdot k_a$
- Spekularna komponenta
 - o aproksimira spekularni odsjaj na predmetu. Proporcionalna je intenzitetu izvora i spekularnom koeficijentu materijala K_s
 - o $I_s = I_i \cdot k_s (R \cdot V)^n$
- Formula za Phongov model osvjetljenja:
 - o $I = I_A + I_d + I_s = I_a \cdot k_a + I_i \cdot k_d (L \cdot N) + I_i \cdot k_s (R \cdot V)^n$



2. Ukratko opisite brisuće plohe (1 bod)

Brišuće plohe (eng. occlusion planes) se koriste za eliminiranje skrivenih površina objekata koje su potpuno prekrivene drugim objektima. Brišuće plohe se koriste kako bi se izbjeglo nepotrebno crtanje i računanje skrivenih dijelova objekata koji neće biti vidljivi na zaslonu.

3. Ukratko opisite volumenske prikaze (1 bod)

Volumenski prikaz (isto što i poligoni samo je ovo u 3D. Za prikaz objekata su korištene male 3D ćelije (voxeli) za razliku od poligona gdje su korišteni 2D trokuti ili četverokuti.

4. Navedite tri osnovne operacije za slaganje elemenata kod konstruktivne geometrije cvrstih tijela. (2 boda)

Imamo osnovne elemente: kvadar, kuglu, stožac, torus i valjak. Njih proizvoljno kombiniramo u složenije objekte operacijama unije, presjeka i oduzimanja. Tri operacije koje koristimo su unija, prejek i razlika. Ove operacije omogućuju stvaranje složenih oblika i manipulaciju čvrstim tijelima na način koji se temelji na njihovim geometrijskim svojstvima.

5. Navedite četiri modela kojima aproksimiramo izvore svjetlosti. Koji od njih dobro aproksimira sunčevu svjetlost i zasto? (4 boda)

Četiri modela za aproksimaciju izvora svjetlosti su: ambijentno svjetlo, usmjerena svjetlost, točkasto svjetlo, reflektor. Usmjereno svjetlo dobro aproksimira sunčevu svjetlost jer sunčeva svjetlost dolazi u obliku gotovo paralelnih zraka, što ovaj model uspješno simulira.

6. Objasnite čemu služe homogene koordinate i napisite točku P definiranu u homogenim koordinatama. (2 boda)

Homogene koordinate P_x i P_y služe nam za prikaz 2D točke uređenom trojkom $[P_x, P_y, w]$.

7. U homogenim koordinatama napisite matrice za 2D translaciju točke P za vektor $[T_x, T_y]$, rotaciju oko centra koordinatnog sustava za kut α i skaliranje faktorom slikanja $[S_x, S_y]$. (Napomena matrice zapisite zasebno bez kombiniranja) (3 boda)

Transformacija predmeta zahtijeva transformaciju svakog vrha $P = [P_x \ P_y \ P_z] \rightarrow P' = [P'_x, P'_y, P'_z]$

2D: $P = [P_x/w \ P_y/w] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ w]$

$W = 1 : P = [P_x \ P_y] \rightarrow P_h = [P_x \ P_y \ 1]$

Translacija točke P za vektor $T = [T_x \ T_y \ T_z] : P' = P * T = [P_x + T_x \ P_y + T_y \ P_z + T_z \ 1]$

Rotacija točke P oko x-osi za kut $\alpha : P' = [P_x \ P_y * \cos(\alpha) - P_z * \sin(\alpha)]$

Promjena veličine objekta (skaliranje) faktorom

$S = [S_x \ S_y \ S_z] : P = [P_x \ P_y \ P_z \ 1] \rightarrow P' = P * S = [P_x * S_x \ P_y * S_y \ P_z * S_z \ 1]$

8. Opisite matricni prikaz koordinatnog sustava u 3D računalnoj grafici: napisite matricu i objasnite njene elemente. (3 boda)

???????

9. Objasnite kako rotirati 3D predmet oko proizvoljne osi r za kut ϕ . (3 boda)

Prikaz je jednostavan za razumijevanje pa i popularan. Ideja: transformirati koordinatni sustav tako da se os r poklopi s osi x globalnog koordinatnog sustava, rotirati točku za kut ϕ oko osi x te ju vratiti u koordinatni sustav sustava r inverznim transformacijama. Moguće izvršiti rotaciju oko bilo koje globalne osi.

10. Opisite postupak praćenja zrake. U svoj opis uključite sve bitne korake tog postupka. (4 boda)

Princip praćenja zrake je tehnika u računalnoj grafici koja simulira put svjetlosti u prostoru kako bi stvorila fotorealistične slike. Zrake se šalju kroz svaki piksel na zaslonu, prateći njihov put kroz scenu. Zrake interagiraju s objektima na putu, odražavaju se, upijaju ili lome, a zatim se dalje prate rekursivno. Osvjetljenje se računa na točkama presjeka zrake s objektima, a zatim se zbrajaju doprinosi osvjetljenja iz svih presjecišta. Rezultat je slika koja prikazuje refleksije, sjene i transparentnost, što daje fotorealističan dojam. Najčešće se koristi u offline grafici zbog intenzivnog računanja što bi bilo jako sporo za grafiku u stvarnom vremenu.

11. Cemu služi i kako radi z-spremnik. (2 boda)

Princip Z-spremnika je tehnika u računalnoj grafici koja se koristi za rješavanje problema preklapanja i određivanja vidljivosti objekata na zaslonu. Z-spremnik je memorijski spremnik koji pohranjuje vrijednosti dubine (Z-koordinate) fragmenata tijekom procesa rasterizacije. Pri svakom novom fragmentu, njegova Z-koordinata se uspoređuje s vrijednošću u Z-spremniku. Ako je nova Z-vrijednost manja, fragment se prihvaća i ažurira se vrijednost u Z-spremniku. Ova tehnika osigurava ispravno prikazivanje vidljivih objekata na zaslonu i sprječava preklapanje objekata.

12. Navedite 3 metode anti-aliasinga. (3 boda)

Tri metode anti-aliasinga su: supersampling, post-filtering i geometrijsko anti-aliasing. One smanjuju vidljivost aliasing efekta, pružajući glađe i kvalitetnije slike.

- Supersampling: Uzimanje više uzoraka za jedan piksel kako bi se izračunala prosječna boja piksela i smanjila vidljivost šumova i nazubljenih rubova.
- Post-filtering: Primjena tehnika filtriranja poput Gaussian blur za smanjenje vidljivosti aliasing efekta nakon rasterizacije slike.
- Geometrijsko anti-aliasing: Manipulacija geometrijom objekata, kao što su zaglađivanje rubova ili upotreba tehnika poput mipmappinga i subpixel renderinga, kako bi se smanjio aliasing efekt.

13. Sto je obrezivanje (eng. Clipping) i cemu služi? (2 boda)

Obrezivanje (eng. clipping) je tehnika u računalnoj grafici koja se koristi za uklanjanje dijelova objekata koji su izvan vidljivog volumena ili prostora kako bi se optimiziralo iscrtavanje i povećala učinkovitost.

1. Što je grafički protočni sustav (GPS)? Koje su njegove glavne faze? (2 boda)

Grafički protočni sustav u stvarnom vremenu je niz funkcija koje se izvode jedna za drugom, a koje virtualnu scenu pretvaraju u sliku. Funkcije se mogu izvoditi istovremeno, kao na pokretnoj traci. Faze grafičkog protočnog podsustava (GPS) uključuju aplikacijsku fazu, geometrijsku fazu i fazu rasteriziranja.

2. Za koji postupak se u GPS-u koriste prednji i stražnji spremnik? U kojoj fazi GPS-a se koristi ovaj postupak? Objasni. (3 boda)

Pri korištenju naivnog pristupa iscrtavanju, boje se crtaju u stražnji spremnik koji se ne vidi, dok video upravljačka jedinica crta na prednji spremnik na zaslonu. Kako su ova dva procesa asinkrona, mogu se dogoditi nedovršene slike na zaslonu. Kako bi se izbjegao ovaj efekt, koriste se dva spremnika - prednji i stražnji. Rasterizator crta u nevidljivi stražnji spremnik, dok se prednji spremnik prikazuje na zaslonu. Kada je slika spremna, spremnici se zamjenjuju, osiguravajući da video upravljačka jedinica uvijek koristi potpunu sliku za iscrtavanje.

Ovaj postupak pripada fazi rasteriziranja.

3. Što se podrazumijeva pod pojmom Web3D? Ukratko opišite i usporedite Java applet i plug-in rješenja, koja omogućuju 3D grafiku u WWW preglednicima. (3 boda)

Web3D su tehnologije za prikaz interaktivne 3D grafike na Web-u. Applet čita i iscrtava 3D format, najpraktičniji je jer nema plug inova, ali je problem velika veličina. Plug-in rješenja su obično vlasnički

formati i obično su dobri alati za izradu sadržaja, no nije široko prihvaćena jer korisnici ne žele instalirati nepoznate plug-inove.

4. Objasniti općeniti postupak za ispitivanje presjeka zrake s općenitim poligonom. Kako možemo ispitati nalazi li se dvodimenzionalna točka P unutar dvodimenzionalnog poligona? (3 boda)

Izračuna se presjek zrake s ravninom u kojoj leži poligon. Zatim se dobivena točka i poligon preslikaju u ravninu (xy, xz, yz) u kojoj projekcija ima najveću površinu. Zatim povučemo zraku iz točke i ukoliko presijeca poligon neparan broj puta, točka je u poligonu, inace nije.

5. Što su obujmice i čemu služe? Navedi primjere. Objasni pojednostavljeni test kojim se računa presjek obujmice i projekcijskog volumena. U kojim slučajevima je bolje raditi pojednostavljeni test nego puni? (4 boda)

Obujmica je jednostavan geometrijski oblik koji obuhvata složeniji geometrijski skup. To su npr. kugla, elipsoid, konveksna ljuska.

Test: Klasificiraju se dva moguća stanja obujmice. "Vani" ili "vjerojatno unutra" s obzirom na projekcijski volumen. U drugom slučaju postoji vjerojatnost da je citava obujmica, ili neki njezin dio, unutar projekcijskog volumena. U tom slučaju imamo 2 mogućnosti: ili crtamo sve unutar obujmice (ukoliko nije cijela unutar volumena nacrtat ćemo nepotrebne poligone) ili ispitujemo sljedeću razinu obujmica (ukoliko ispitujemo sljedeću razinu, a prethodna obujmica je u potpunosti unutar projekcijskog volumena, radimo nepotrebne testove).

Pojednostavljeni testovi se koriste u velikim scenama gdje je velika vjerojatnost da će i pojednostavljeni test odbaciti puno obujmica koje su izvan projekcijskog volumena.

6. Na koji način možemo ostvariti sljedeća ograničenja pri navigaciji avatara u 3D sceni (3 boda):

a) zabrana prolaza kroz predmete

b) zabrana okretanja avatara naglavačke

c) hod po površini

a) Zabrana prolaza kroz predmete postiže se detekcijom sudara, te se izbjegava da korisnici prolaze kroz zidove i ostale predmete u sceni. Detekcija sudara se implementira pomoću zraka koje se postavljaju u smjeru gibanja.

b) Može se vršiti potpunim blokiranjem nekih stupnjeva slobode gibanja. Npr. blokiranjem rotacije oko x i z osi postiže se da se avatar može samo okretati oko sebe.

c) Pomoću relativno jednostavih detekcije sudara s površinom korištenjem zraka koje se postavljaju prema dolje, pri čemu se mogu postići dobri efekti penjanja/spuštanja po stepenicama i strminama

7. Navedite neke od tehničkih izazova u izvedbi umreženih virtualnih okruženja. Objasni AOIM. Zbog čega je AOIM bitan? (3 boda)

Tehnički izazovi:

- Prilagodljivost veličini
- Način mrežnog povezivanja
- Strukturiranje virtualnog prostora

- Prikaz korisnika
- Podrška za "prirodnu" komunikaciju

Izuzetno važna tehnika je upravljanje prema području interesa (AOIM-Area of Interest Management), odnosno filtriranje prometa. Korištenjem ove tehnike smanjuje se opterećenje mreže i pojedinih računala na taj način da se sinkronizacijske poruke ne šaju svim računalima u sustavu, nego samo onima kojima su zaista potrebne prema području interesa

8. Objasni princip rada elektromagnetskih sljednika. (2 boda)

Princip rada EM sljedbenika je takav da postoji izvor EM polja, EM senzori primaju signal; iz njega se računa položaj senzora unutar polja. Prednosti ovoga su rad u stvarnom vremenu, jednostavno postavljanje, dok su nedostaci kratak domet, osjetljivost na metal u okolini.

9. Objasni princip rada proširene stvarnosti i navedite njene osnovne primjene. (2 boda)

Virtualna stvarnosti radi na sljedeći način:

- miješanje i prikaz slike (istovremeno prikazuje stvarnu i virtualnu sliku)
- poravnanje (virtualni predmeti se moraju preklapati točno sa stvarnim, te moraju i slijediti ovisno o korisnikovoj poziciji (tracking))
- prikupljanje podataka (sensing) -> moramo dobiti korisne informacije koje će se prikazati u AR - Artificial reality (virtualna stvarnost)

Moguća područja primjene AR-a su: medicina, arhitektura, navigacija, robotika, vojne primjene, komunikacija

ZI 2012

1. Objasnite algoritam traženja presjeka zraka-kugla.

Presjek zraka-kugla moguće je pronaći izravnom uporabom jednačbi. Uvrštavanjem izraza koji opisuje zraku u izraz koji opisuje kuglu dobiva se kvadratna jednačba. Determinanta određuje da li zraka siječe, dira ili ne dotiče kuglu. Postupak se optimizira korištenjem jednostavnih testova za rano odbacivanje. Testovi provjeravaju neke parametre kao što su udaljenost kugle od zrake ili smjer zrake u odnosu na kuglu te na se osnovu rezultata nastavlja s algoritmom ili dolazi do prekida jer presjek ne postoji.

2. Opišite detekciju sudara kod hijerarhije obujmica.

Hijerarhija obujmica zapisuje se u obliku stabla. Pritom račve stabla sadrže obujmice, a listovi poligone. Hijerarhija obujmica može se graditi automatski i to pristupom s vrha ili s dna. U pristupu s vrha prvo se nalazi obujmica za sve poligone u predmetu i to je vrh stabla. Zatim se poligoni dijele u dvije grupe, za svaku se grupu nalazi nova obujmica i te obujmice se dodaju kao račve u stablo. Postupak se rekurzivno ponavlja. Ova metoda se puno češće koristi. Pri pristupu s dna, poligoni se ubacuju u stablo jedan po jedan, na taj način da minimalno povećaju ukupnu obujmicu.

3. Koje su tri metode interakcije u virtualnom okruženju?

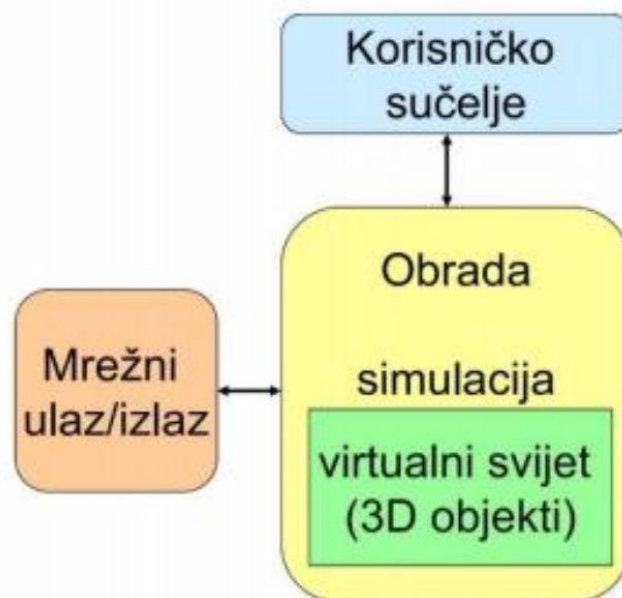
Tri osnovne vrste interakcije u virtualnom okruženju su odabir, manipulacija i navigacija. Odabirom se određuje predmet u sceni koji se želi manipulirati. Manipulacija se najčešće odnosi na pomicanje i orijentaciju predmeta ili dijela predmeta. Navigacija je promjena položaja kamere koju korisnik doživljava kao vlastito gibanje kroz scenu.

4. Objasni pojmove „kamera u ruci“ i „scena u ruci“.

Kamera u ruci i scena u ruci su, uz upravljanje vozilom, najčešći načini navigacije u 3D virtualnoj sceni. Scena u ruci je način navigacije kod kojega se pokretom ulazne jedinice pomiče čitava scena, i to u sustavu kamere (npr. pomicanje miša). Kamera u ruci je način navigacije kod kojega se pokretom ulazne jedinice pomiče kamera. Ovo je najčešće korištena metoda u slučajevima kada je virtualni korisnik mali u usporedbi sa scenom.

5. Objasni princio rada UVO i skiciraj osnovni model.

Umrežena virtualna okruženja (UVO) – Okruženja u kojima fizički udaljeni korisnici sudjeluju zajedno u virtualnom okruženju. Svako računalo ima lokalnu kopiju okruženja te svaki korisnik može upravljati svojim 3D prikazom i okruženjem (mmorpg). Kopije se međusobno sinkroniziraju putem mreže



6. Opiši tehničke zahtjeve za mrežu i objasni što je AOIM.

Tehnički izazovi:

- Prilagodljivost veličini
- Način mrežnog povezivanja
- Strukturiranje virtualnog prostora
- Prikaz korisnika
- Podrška za "prirodnu" komunikaciju

Izuzetno važna tehnika je upravljanje prema području interesa (AOIM-Area of Interest Management), odnosno filtriranje prometa. Korištenjem ove tehnike smanjuje se opterećenje mreže i pojedinih računala na taj način da se sinkronizacijske poruke ne šaju svim računalima u sustavu, nego samo onima kojima su zaista potrebne prema području interesa

7. Što je virtualna stvarnost i zatvorena petlja korisnika?

Virtualna stvarnost je pojam za računalne simulacije kojima je cilj stvoriti osjećaj prisutnosti u virtualnom okruženju. Računalne simulacije virtualnih stvarnosti mogu biti simulacije stvarnih lokacija ili potpuno novi imaginarni svjetovi.



8. Što su optički sljednici i što je 2010. godine populariziralo optičko sljedenje dubinskom kamerom?

Optički sljednici su sustavi koji pomoću većeg broja kamera sljede oznake te kombiniranjem položaja markera u vidnom polju svake kamere dobivaju 3D položaj markera. U 2010. su razvijeni optički sljednici posebno razvijeni za igraće konzole, nintendo wii(2008), sony move(2010) i microsoft kinetic(2010), te ih je to populariziralo.

9. Nabroji i opiši tehnike miješanja slike kod proširene stvarnosti.

Tehnike miješanja slike su optičko miješanje, video miješanje i projekcijsko miješanje.

Optičko miješanje – korisnik ima poluprozirno ogledalo ispred očiju tako da istovremeno vidi dvije slike, stvarni svijet kroz ogledalo i virtualni svijet koji se odražava na ogledalu. Da vi se virtualna stvarnost poklopila sa stvarnim svijetom potrebno je precizno praćenje pokreta glave korisnika(ili još bolje očiju).

Video miješanje– Korisnika ima jedan ekran u koji gleda kao kod uređaja za virtualnu stvarnost. U ovom slučaju postoji još i uređaj koji se zove video mješalica koji sklapa dva video signala, sliku stvarnog svijeta i proširenu stvarnost. Jedna velika razlika između video i optičkog miješanja je što je u video miješanju i slika stvarnog svijeta u digitalnom obliku te postoji sloboda obrade signala, što se može iskoristiti za razne efekte.

Projekcijsko miješanje – virtualni podatci direktno se prijeciraju na stvarni svijet. Dodatne virtualne informacijeprikazane su izravno u stvarnom okruženju korištenjem jednog ili više projektora.

10. Koje se metode koriste da dobijemo dojam 3D i koje od njih su komplicirane za izvedbu?

Da bi dobili 3D prikaz na računalo trebamo ostvariti sve ono što naše oko vidi i kako mi procesiramo tu sliku. Da bi to dobili moramo ostvariti prekrivanje predmeta, sjene, stereoskopska slika (svako oko gleda iz druge perspektive), okulomotorni faktori (Fokus, konvergencija), Perspektiva (udaljeni predmeti manji), paralaksa gibanja (prilikom kretanja, blizi predmeti se prividno kreću brže od udaljenih). Fokus i konvergencija su problematični – računalo ne zna na koju dubinu korisnik fokusira. Model kamere je idealan i nema fokusa.

11. Objasniti što je poravnavanje kod proširene stvarnosti i kakve pogreške mogu nastati.

Poravnavanje je središnji i najteži problem proširene stvarnosti. Radi se o tome da je potrebno precizno poravnavati stvarne i virtualne predmete i to ne na zaslonu nego u 3D prostoru. Dakle položaj promatrača i svih predmeta u sceni mora biti poznat. Pogreške do kojih može doći su da zbog i najmanjih nepreciznosti predmeti mogu lebđeti ili "zaroniti" u drugi predmet.

12. Navedite i objasnite jednu metodu vizualizacije obujma?

Izravno iscrtavanje-kod izravnog iscrtavanja za svaki piksel koristimo metodu odašiljanja zrake(ray casting). Iz točke gledišta, kroz svaki piksel odašiljemo zraku. Zraka prolazi kroz volumen i na tom putu prolazi kroz razne vrijednosti. Na osnovi tih vrijednosti izračunat će se boja piksela. Prvi korak je definiranje funkcije prijelaza koja će svakoj vrijednosti vokselu pridružiti boju i prozirnost. Nakon toga ide proces odašiljanja zrake. Zraka prolazi kroz volumen i na tom putu prolazi kroz područja različitih intenziteta, a na kraju ćemo dobiti samo jednu konačnu vrijednost. Sljedeći korak je određivanje boje i neprozirnosti vokselu na temelju funkcije prijelaza i konačno onda možemo početi kombiniranje gdje izračunavamo doprinos svake točke konačnoj boji piksela.

ZI 2023

1. Što je graf scene, čemu služi i od kojih se dijelova sastoji i nacrtaj njegove osnovne dijelove (3 boda)

Graf scene je podatkovna struktura u koju se virtualna scena sprema na organiziran i strukturiran način. Omogućuje logičnu organizaciju scene, lakšu manipulaciju i učinkovitije iscrtavanje. Prolaz kroz graf scene standardni je rekurzivni postupak za obavljanje neke operacije nad svim čvorovima u sceni. Kreće se od korijena scene te se rekurzivno spušta po hijerarhiji, pritom obrađujući svu djecu korijena scene, zatim njihovu djecu itd.

Skica????

2. Što su obujmice i navedi 2 oblika. (2boda)

Obujmica je jednostavan geometrijski oblik koji obuhvaća složeniji geometrijski skup. Obujmice služe za aproksimaciju složenog predmeta jednostavnijim predmetom radi lakše manipulacije (obično ispitivanja presjeka).

Primjeri obujmica su: kugla, elipsoid, kvadar paralelan s osima, općeniti kvadar, konveksna ljuska.

3. Nabroji 3 osnovne vrste presjeka ili 3 pravila računanja detekcije presjeka (3 boda)

Presjeci sa zrakom, presjeci obujmica, presjeci obujmica s projekcionim volumenom

4. Objasni presjek između 2 trokuta (3 boda)

Presjek trokuta ispitujemo sljedećim postupkom: (Trokut T1 u ravnini R1 i T2 u ravnini R2)

Izračunamo udaljenost svih vrhova T1 do R1, ako su udaljenosti istog predznaka nema presjeka. Isto ponovimo za T2. Pravac L je presjek R1 i R2. Nalazimo presjek T1 i T2 sa L i dobijemo intervale I1 i I2, ako se intervali preklapaju imamo presjek.

5. Objasni razlike između 3 vrste presjeka odabira, manipulacije i navigacije (3 boda)

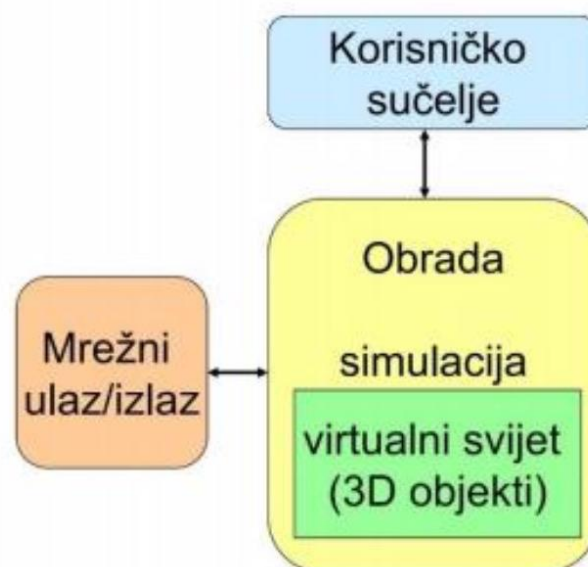
Razlike između tri vrste presjeka - odabira, manipulacije i navigacije, u računalnoj grafici su sljedeće:

- Presjek odabira: Odabir objekata na temelju njihovog položaja u prostoru.
- Presjek manipulacije: Manipulacija objektima, poput pomicanja, rotacije ili skaliranja.
- Presjek navigacije: Navigacija u 3D prostoru, kao što je kretanje kamere ili korisnika kroz virtualno okruženje.

6. Objasni odabir pokazivanjem i navedi jednu metodu (3 boda)

Odabir pokazivanjem je postupak identificiranja odabranog objekta na zaslonu pomoću korisničkog pokazivača. Iz točke pokazivača baca se zraka u ravninu te se gleda presjek s elementima scene. Uzima se najbliži presjek. Koristi metode sudara i presjeka. Metoda "bounding volume" koristi aproksimaciju objekta jednostavnijim geometrijskim oblikom poput kugle ili pravokutnika radi bržeg testiranja presjeka s pokazivačem.

7. Skiciraj osnovni model umreženog virtualnog okruženja (3 boda)



8. Objasni jaku i slabu konzistenciju (3 boda)

Jaka konzistencija podrazumijeva da su podaci uvijek potpuno ažurirani i dosljedni u svim dijelovima sustava ili prikaza, bez privremenih neslaganja ili odgoda. To osigurava da sve informacije budu uvijek u skladu. S druge strane, slaba konzistencija dopušta privremena neslaganja ili odgode u ažuriranju podataka između različitih dijelova sustava, što može rezultirati trenutnim neslaganjima ili različitim verzijama podataka. Ova fleksibilnost omogućava poboljšanu performansu i skalabilnost sustava, ali može dovesti do privremenih nesklada. Odabir između jake i slabe konzistencije ovisi o specifičnim zahtjevima aplikacije, gdje se teži postizanju optimalne ravnoteže između dosljednosti i performanse.

9. Objasni središnji repozitorij informacija s zajedničkim podacima (3 boda)

10. Objasni razliku između virtualne i proširene stvarnosti (2 boda)

Računalne simulacije virtualnih stvarnosti mogu biti simulacije stvarnih lokacija ili potpuno novi imaginarni svjetovi, dok proširena stvarnost dodaje elemente virtualnog okruženja u stvarni svijet a ne stvara potpuno novi svijet.

11. Nacrtaj zatvorenu petlju kod virtualne stvarnosti (2 boda)



12. Objasni razliku između 3 i 6 stupnjeva slobode kod virtualne stvarnosti (2 boda)

Kod 3 stupnja slobode (3DOF - Three Degrees of Freedom), korisnik može mijenjati svoj položaj ili orijentaciju samo u određenim smjerovima. To znači da se korisnik može kretati naprijed-natrag, gore-dolje i lijevo-desno, te može rotirati oko svoje osi. Međutim, korisnik nema slobodu kretanja prema naprijed i natrag u 3D prostoru, niti slobodu pomicanja gore-dolje ili lijevo-desno u svim smjerovima. S druge strane, kod 6 stupnjeva slobode (6DOF - Six Degrees of Freedom), korisnik ima potpunu slobodu kretanja u 3D prostoru. To znači da korisnik može mijenjati svoj položaj ili orijentaciju u bilo kojem smjeru. Korisnik može slobodno kretati naprijed-natrag, gore-dolje i lijevo-desno, te može rotirati oko svih osi (x, y, z). Ovo omogućava korisniku da se slobodno kreće i istražuje virtualno okruženje na realističan nači

13. Objasni slijeđenje kod proširene stvarnosti, objasni slijeđenje preko markera (3 boda)

Sustavi koji pomoću više kamera slijede oznake (markere) i kombiniranjem položaja markera u vidnom polju svake kamere dobivaju 3D položaj markera. Marker su izrađeni od retro-reflektivnog materijala, a kamere su osjetljive na infracrveno svjetlo. Međusobni položaji i orijentacije kamera moraju biti poznati. Prilikom slijeđenja, markeri se slijede u 2D u slici svake kamere. Kombiniranjem 2D položaja u slikama svih kamera precizno se utvrđuje 3D položaj markera. Dubinska kamera u stvarnom vremenu za svaku točku daje i boju i udaljenost od kamere, tj. kartu dubine. Ona omogućuje lakše praćenje tijela. Prednosti: odlična preciznost, visoka frekvencija uzrokovanja podataka i mogućnost velikog broja slijednika.

Nedostaci: potreban velik prostor, složena kalibracija, cijena, složena obrada podataka.

OSTALA PITANJA

1.Što je BSP stablo?

BSP stablo je struktura za organizaciju scene kod koje se prostor scene rekurzivno djeli na dva dijela nekom ravninom. Njegova glavna prednost u odnosu na hijerarhiju obujmica je u tome što prolaz BSP stabla omogućuje učinkovito sortiranje geometrije od naprijed prema natrag u odnosu na kameru što ima ulogu kod nekih metoda ubrzavanja iscrtavanja.

2. Zašto se koriste u interaktivnoj 3D grafici testovi presjeka koji se razlikuju od analitičkih rješenja.(analitička rješenja -kad koristimo jednadžbu zrake ,jednadžbu kugle.....)

Zato jer nam nekad nisu potrebni svi elementi,nego se testira samo jedan element(moguće izračunati u pripremljenoj fazi).Npr. kod auta i podloge provjeravamo samo da li su gume direktno iznad površine,ostalo nas ne zanima.Drugi razlog je zbog optimalnosti, jer analitička rješenja nekad mogu biti dosta kompleksna, pa se onda koriste testovi odbacivanja koji su podosta jednostavniji.Ukoliko se koristi više testova/faza,prvo jednostavnije.

3. Objasni princip rada elektromagnetskih slijednika.

Princip rada EM slijedbenika je takav da postoji izvor EM polja, EM senzori primaju signal; iz njega se računa položaj senzora unutar polja. Prednosti ovoga su rad u stvarnom vremenu, jednostavno postavljanje, dok su nedostaci kratak doomet, osjetljivost na metal u okolini.

4. Ukratko opisati programska sučelja niske razine. Koje je sučelje najraširenije?

Sto je nize razine, to znaci da je sucelje po strukturi i nacinu rada blize protocnom sustavu. Izravniya je veza s protocnim sustavom sto znaci i vise fleksibilnosti u koristenju svih funkcija protocnog sustava. To su npr. DirectX i OpenGL, ne znam koje je najrasirenije.

5. Opisati i navesti neke karakteristike formata VRML. Da li je to standardni, otvoreni ili vlasnički format?

Zasnovan je na grafu scene i ima sve normirane čvorove. Standardni format.

Karakteristike: može se kreirati i urediti u običnom editoru, ne ovisi o operacijskom sustavu i podrsci.

Napredne karakteristike: naprednije funkcije senzori, interpolatori i staze kojim se mogu definirati jednostavne animacije i interakcije sa korisnikom.

6. U kojoj fazi se provodi teksturiranje? Koji je nedostatak linearne interpolacije? Kako to riješiti?

U fazi rasterizacije obavlja se preslikavanje teksture i radi se za svaku pojedinu točku. U fazi prolaza trokuta teksturne se koordinate interpoliraju. U fazi sjencanja pomoću interpoliranih koordinata vrši se uzorkovanje teksture (dohvat boje teksture na tim koordinatama). Nedostatak linearne interpolacije u, v koordinata unutar trokuta očituje se kroz nedostatak perspektive jer se interpolacija radi u zaslonskim, a ne u 3D koordinatama (nemamo osjećaj dubine). Rješava se tako da se u obzir uzme i dubina (z koordinata).