

Osnove virtualnih okruženja

Sažetak za prvi međuispit

Sadržaj

1. Uvod	4
1.1. Elementi simulacije virtualnog okruženja	4
1.2. Elementi sučelja čovjek – računalo	4
1.3. Računalna grafika	4
1.3.1. Trodimenzionalna grafika	4
1.4. Primjene virtualnih okruženja	5
2. Modeliranje virtualne scene.....	6
2.1. Opis virtualne scene	6
2.2. Modeliranje i digitalni prikaz predmeta	6
2.2.1. Prikaz geometrije polinomima	6
2.2.2. Konstruktivna geometrija čvrstih tijela	6
2.2.3. Parametarske krivulje i plohe	7
2.2.4. Razdjelne plohe	7
2.2.5. Brišuće plohe	7
2.2.6. Volumenski prikazi.....	7
2.2.7. Fraktali	8
2.2.8. Sustavi čestica.....	8
2.3. Model kamere	8
2.4. Model osvjetljenja	8
2.4.1. Model izvora svjetlosti	9
2.4.2. Model odbijanja svjetlosti	9
2.4.2. Model materijala	9
3. Graf scene.....	10
3.1. Struktura grafa scene	10
3.1.1. Mreža poligona.....	10
3.1.2. Materijali	11
3.1.3. Vrste račvi (unutarnji čvorovi).....	11
3.2. Obujmice	12
3.3. Prolaz kroz graf scene.....	12
4. Geometrijske transformacije.....	13
4.1. Prikazi rotacije	14
4.1.1. Eulerovi kutovi.....	14
4.1.2. Rotacija oko proizvoljne osi za kut α	14

4.1.3. Quaternion	14
4.2. Projekcija	14

1. Uvod

Virtualni predmet je predmet definiran u memoriji računala na takav način da ga računalno može na zaslonu prikazati korisniku uz mogućnost interakcije.

Virtualno okruženje radi sa složenijim virtualnim predmetima, odnosno skupom virtualnih predmeta koji mogu prikazivati čitave zgrade, gradove i dr.

1.1. Elementi simulacije virtualnog okruženja

Vizualna simulacija – prikaz virtualnog okruženja

Zvučna simulacija – reprodukcija i generiranje zvukova u virtualnom okruženju (3D zvuk)

Haptička simulacija – simulacija dodira i/ili sile

Simulacija dodira – vibrirajući ili termičkim elementi

Simulacija sile – aktivni elementi (motori, elektromagneti)

Fizikalna simulacija – davanje fizikalnih svojstava virtualnim predmetima (deformacija, odbijanje, masa, gravitacija i dr.)

1.2. Elementi sučelja čovjek – računalno

- zaslon, miš i tipkovnica
- joystick i „ljudska“ odijela
- projekcijsko platno (CAVE)
- Head Mounted Display (HMD)
- stereo zvučnici i slušalice
- haptički izlazi

1.3. Računalna grafika

- dvodimenzionalna i trodimenzionalna (razlika u internom prikazu podataka)

1.3.1. Trodimenzionalna grafika

- offline grafika i grafika u stvarnom vremenu

- offline grafika:

- puno veće vrijeme iscrtavanja slike
- proizvodnja pojedinačnih slika
- proizvodnja video sekvenci
- izuzetno visoka kvaliteta slike

- real-time grafika:

- iscrtavanje brzinom od barem 10 slika u sekundi
- manja kvaliteta slike
- mogućnost interakcije

- offline grafika:

- računalna animacija (filmovi, reklame i dr.)
- specijalni efekti

- real-time grafika = **virtualna okruženja** + zvuk + dodir + fizikalna simulacija:

- virtualna stvarnost
- proširena stvarnost
- Web3D
- NVE (Networked Virtual Environments)
- CAD (Computer Aided Design)

1.4. Primjene virtualnih okruženja

- film i televizija
- igre
- dizajn i projektiranje
- simulacija
- vizualizacija
- predstave, događaji i marketing
- ostalo

2. Modeliranje virtualne scene

Virtualna scena je prikaz virtualnog okruženja u memoriji računala. Stvarna scena sastoji se od stvarnih predmeta, a virtualna scena od virtualnih predmeta. Slika stvarne i virtualne scene je stvarna.

2.1. Opis virtualne scene

Kako prirodne predmete i pojave prikazati digitalno? (problem modeliranja)

Kako iz toga dobiti sliku? (problem iscrtavanja)

- metode modeliranja i prikaza predmeta
- osnovni model kamere
- model osvjetljenja

2.2. Modeliranje i digitalni prikaz predmeta

- parametarski prikaz i prikaz jediničnim elementima (trokuti ili četverokuti)

- **jedinični elementi**: - više elemenata → bolja aproksimacija → veći utrošak memorije i više posla za procesor
 - interpolacija boje → efekt glatke i zakrivljene površine uz manji broj jediničnih elemenata

METODE:

2.2.1. Prikaz geometrije polinomima

- najčešći i najrašireniji prikaz geometrije
- prikaz osnovnim elementima tj. poligonima (obično trokuti)
- grafičko sklopovlje prilagođeno radu sa poligonima (obično trokuti)
- čim veći broj poligona čim manje površine → bolja aproksimacija
- poligoni se koriste za interni prikaz podataka, ne modeliranje!
- osnovni podaci: vrh, brid i stranica ili poligon

2.2.2. Konstruktivna geometrija čvrstih tijela

- parametarski prikaz
- slaganje jednostavnih osnovnih tijela (kvadar, kugla i dr.)
- operacije zbrajanja, oduzimanja i presjeka (jednostavni oblici → složeni oblici)

2.2.3. Parametarske krivulje i plohe

- stvaraju se matematičkim formulama
- parametri formule mijenjaju oblik (kontrolne točke, tangente i sl.)

- Bezierova kubična krivulja:

- mijenja se pomicanjem točaka P0-P3
- promjena parametra od 0 do 1
- $Q(u) = P_0(1-u)^3 + P_13u(1-u)^2 + P_23u^2(1-u) + P_3u^3$

- Hermite, B-spline, b-spline, NURBS

- Bezierova bikubična ploha = Bezierova kubična krivulja u 3 dimenzije

2.2.4. Razdjelne plohe

- subdivision surfaces
- iterativna razdioba poligona → glatki oblici

- algoritmi: - Doo-Sabin

- Catmull-Clark:

- od svakog poligona nastaje novi
- točka stranice (S) → aritmetička sredina svih točaka u poligonu
- točka brida (B) → sredina između: sredine brida i sredinu dviju S točaka
- točka vrha (V) → $x = \text{suma koordinata starog vrha} * (n-3) / n$
→ $y = \text{suma koordinata pripadajućih S točaka} * 1/n$
→ $z = \text{suma koordinata pripadajućih središnjih točaka bridova} * 2/N$
- spajanje: $S \rightarrow B \rightarrow V \rightarrow S$ (četverokut)

2.2.5. Brišuće plohe

- sweeping surfaces
- povlačenje krivulje linearno, kružno ili po drugoj krivulji

2.2.6. Volumenski prikazi

- prikaz osnovnim elementima (popunjava se čitav prostor, a ne samo površina)
- važno za anatomiju, geologiju . dr.
- podjela prostora na 3D ćelije (voxels) → podaci o popunjenosti, boji, gustoći materijala i dr.

- goleme količine memorije → octree : - smanjuje se upotreba memorije
- rekurzivna podjela volumena (po 8 dijelova)

2.2.7. Fraktali

- Benoit Mandelbrot (1975. godine)
- fragmentirani, nepravilni geometrijski objekti koji pokazuju svojstvo samosličnosti
- stvaraju se rekurzivnim ponavljanjem funkcije → proizvoljna razina detalja
- mandelbrotov skup: $z := z^2 + c$ (z i c su kompleksni brojevi)
- modeliranje prirodnih pojava i generiranje virtualnog terena
- potrebno je eksperimentalno mijenjati parametre dok se ne dostigne željeni efekt

2.2.8. Sustavi čestica

- particle system
- simulacija velikog broja jednostavnih čestica
- čestice : točkice ili crtice
- svojstvo dinamičnosti
- vodopadi, vatra, dim...

2.3. Model kamere

- određuje pogled u virtualnu scenu koji će se iscrtati
- zasniva se na projekciji koja može biti ortogonalna ili perspektivna
- parametri perspektivne projekcije: - središte projekcije
 - projekcioni prozor
 - normala na projekcionu plohu
 - bliska i daleka odrezujuća ploha
- dijelovi scene unutar projekcijskog volumena se projiciraju na projekcijsku plohu

2.4. Model osvjetljenja

- služi za računanje osvjetljenja tj. boje u promatranoj točki predmeta u sceni
- model osvjetljenja tj. boja ovisi o:
 - materijalu predmeta
 - svjetlima
 - položaju kamere

- položaju svjetala
- položaju predmeta
- **efekt globalnog (neizravnog) osvjetljenja** → posljedica odbijanja svjetlosti na većem broju predmeta
- **efekt lokalnog (izravnog) osvjetljenja** → posljedica izravnog osvjetljenja određenog predmeta iz izvora svjetlosti
- ulazna svjetlost odbija se na dva načina: **difuzno i spekularno**
 - difuzno: zraka se raspršuje u svim smjerovima jednako
 - spekularno: zraka se raspršuje najviše u smjeru zrcaljenja
- **lom (refrakcija) svjetlosti**: zraka prolazi kroz predmet (lomi se pri ulasku i pri izlasku)
- pri prolasku kroz predmet dolazi do: **rasipanja i upijanja (apsorpcije)**
- pri izlasku dolazi do još jednog odbijanja (difuznog i spekularnog)

2.4.1. Model izvora svjetlosti

- **ambijentno svjetlo**: aproksimira globalno osvjetljenje
- **usmjereno svjetlo**: definirano intenzitetom i smjerom
- **točkasto svjetlo**: isijava iz jedne točke u svim smjerovima jednako
- **reflektor**: isijava samo u smjerovima određenim njegovim stošcem

2.4.2. Model odbijanja svjetlosti

- koristi se za računanje lokalnog efekta osvjetljenja

- Phongov model:

- tri komponente: ambijenta, difuzna i spekularna

$$I = I_a k_a + I_i k_d (L \cdot N) + I_i k_s (R \cdot V)^n$$

- svi intenziteti I i koeficijenti k su vektori boje koji se sastoje od triju komponenata: R, G i B

2.4.2. Model materijala

- opisuje kako materijal odbija svjetlost
- daje materijalu svojstva: boja, sjaj, prozirnost

3. Graf scene

- podatkovna struktura u koju se virtualna scena sprema na organiziran i strukturiran način
- R (root) → korijen scene
- T → transformacije (translacija, rotacija, skaliranje)
- lakša manipulacija objektima u sceni i učinkovitije iscrtavanje scene
- veća brzina simulacije kod složenih scena (iscrtavanje i detekcije sudara)

3.1. Struktura grafa scene

- graf scene je aciklički usmjereni graf ili stablo
- čvorovi: → ishodišni (korijenski, root node), unutarnji (račve, branch, internal nodes) i vanjski (listovi, leaf nodes)
 - sadrže određene podatke (vlastiti smještaj u grafu i dr.)
 - čvorovi roditelji i čvorovi djeca
- korijenski čvor → dohvatna točka cijele scene ili dijela scene (moguće više korijenskih čvorova)
- račve → organiziraju scenu u hijerarhiju (npr. transformacije zrakoplova → lok. koord. sustavi)
- listovi → krajnje točke grafa, sadrže sve što se u sceni vidi
- vrste listova: → jednostavna geom. tijela (kocka, kugla...)
 - mreža poligona
 - mreža crta

3.1.1. Mreža poligona

- mreža crta je pojednostavljena inačica mreže poligona i iz nje proizlazi
- jedna od najvažnijih struktura za prikaz 3D geometrije
- definira vrhove i poligone te dodatno normale, koordinate teksture i boje (dovoljno za prikaz cjelovitog predmeta)
- mreža trokuta (triangle mesh) → pojednostavljena inačica mreže poligona

3.1.1.1. Zapis vrhova i trokuta

- vrhovi su zapisani u listu i to sa trima koordinatama koje definiraju njegov položaj u prostoru
- vrhovi se ne ponavljaju tj. svaki vrh je zapisan samo jednom
- lista vrhova je implicitno indeksirana redoslijedom zapisa
- lista trokuta sadrži tri indeksa vrha (trokut se sastoji od 3 vrha)

3.1.1.2. Zapis normala po vrhu

- zaglavlju se daje podataka jesu li normale definirane te ako su definirane da li su definirane za svaki vrh ili samo za svaki trokut
- normale se zapisuju u listu sa trima koordinatama
- lista trokuta sadrži tri indeksa normala (po jedna normala za svaki od 3 vrha)
- u svakom vrhu mogu biti dvije ili više različitih normala:
 - jedna normala po vrhu se koristi za efekt glatke zaobljene površine
 - više normala po vrhu se koristi za efekt oštrog brida između susjednih trokuta
- na svakom poligonu dolazi do interpolacije boje → najviše jedna normala po vrhu: postepeni prijelaz boje
 - moguće više normala po vrhu: nagli prijelaz boje

3.1.1.3. Zapis normala po poligonu

- za svaki poligon se zapisuje samo jedna normala
- lista trokuta sadrži jedan indeks normale (jedna normala po trokutu)
- za čitav poligon se primjenjuje ista boja (plošno sjenčanje)

3.1.1.4. Zapis boja i koordinata teksture

- ako se koristi boja ona se izravno primjenjuje bez računanja osvjetljenja (ne daje dobar 3D dojam)
- boje se zapisuju po vrhu ili po trokutu
- zapis boja po vrhu → boje se unutar trokuta interpoliraju
- kada je mreža poligona teksturirana, zapisuju se koordinate teksture (zapisuju se obavezno za svaki vrh)

3.1.2. Materijali

- podaci o materijalu su dio samog geometrijskog čvora (mogućnost višestrukog zapisa materijala)
- podaci o materijalu se zapisuju u posebnim čvorovima s imenom, a zatim se ti materijali referenciraju po imenu iz geometrijskih čvorova

3.1.3. Vrste račvi (unutarnji čvorovi)

- **grupa**: sadrži jedan ili više čvorova djece
- **transformacija**: pomak, rotacija i veličina
- **izbornik**: posebna vrsta grupe u kojoj je istovremeno aktivno samo jedno dijete
- **razina detalja**: posebna vrsta izbornika gdje se izbor djeteta vrši automatski
- **pano**: automatska orijentacija predmeta prema kameri

3.2. Obujmice

- jednostavan geometrijski oblik koji obuhvaća složeniji geometrijski skup
- primjeri: kugla, elipsoid, kvadar paralelan s osima, općeniti kvadar, konveksna ljuska i dr.
- služe za aproksimaciju složenog predmeta jednostavnijim predmetom radi lakše manipulacije
- složenija obujmica → bolja aproksimacija predmeta → raste složenost testa presjeka
- važna uporaba obujmica je u ubrzavanju iscrtavanja
- prilikom inicijalizacije mogu se izračunati obujmice za sve čvorove u grafu scene te se time stvara hijerarhija obujmica

3.3. Prolaz kroz graf scene

- standardni rekurzivni postupak za obavljanje neke operacije na svim čvorovima u sceni
- kreće se od korijena scene te se rekurzivno spušta po hijerarhiji scene
- primjeri operacija: iscrtavanje scene, test presjeka/sudara, traženje pojedinog elementa, pojednostavljivanje scene i dr.
- graf scene koristi protočni sustav, koji se nalazi na nižoj razini apstrakcije, za iscrtavanje

4. Geometrijske transformacije

- funkcije koje transformiraju točke, čitave predmete ili koordinatne sustave
- sve transformacije izražavaju se matricama dimenzija 4x4
- vektori se zapisuju sa četirima dimenzijama (homogene koordinate)
- osnovne transformacije: translacija, rotacija i promjena veličine
- transformacija predmeta zahtijeva transformaciju svakog vrha $P = [P_x, P_y, P_z] \rightarrow P' = [P'_x, P'_y, P'_z]$
- translacija za vektor $T = [T_x, T_y, T_z]$: $P' = P + T = [P_x + T_x, P_y + T_y, P_z + T_z]$
- rotacija oko x-osi za kut a : $P' = [P_x, P_y \cdot \cos(a) - P_z \cdot \sin(a), P_y \cdot \sin(a) + P_z \cdot \cos(a)]$
- promjena veličine faktorom $S = [S_x, S_y, S_z]$: $P' = P \cdot S = [P_x \cdot S_x, P_y \cdot S_y, P_z \cdot S_z]$
- $P_{3D} = [P_x, P_y, P_z] \rightarrow P_{4D} = [P_x, P_y, P_z, 1]$

- TRANSLACIJA:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix}$$

- ROTACIJA:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & \sin a & 0 \\ 0 & -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ oko osi X (Rx)}$$

$$\begin{bmatrix} \cos a & 0 & -\sin a & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin a & 0 & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ oko osi y (Ry)}$$

$$\begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ oko osi z (Rz)}$$

- PROMJENA VELIČINE:

$$\begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- LOKALNI KOORDINATNI SUSTAV:

$$\begin{matrix} Xx & Xy & Xz & 0 \\ Yx & Yy & Yz & 0 \\ Zx & Zy & Zz & 0 \\ Tx & Ty & Tz & 1 \end{matrix}$$

4.1. Prikazi rotacije

- osnovne rotacije oko triju osi, eulerovi kutovi, rotacije oko općenite osi, quaternioni

4.1.1. Eulerovi kutovi

- način prikaza općenite rotacije pomoću rotacija oko triju osi s definiranim redoslijedom

- kombinacija triju osnovnih rotacija: $R = R_z(r)R_x(p)R_y(h)$

- $h \rightarrow$ skretanje

- $p \rightarrow$ poniranje

- $r \rightarrow$ valjanje

- problem „blokada kardana“ za $p = \pm 90^\circ$ (mogući nagli skokovi)

4.1.2. Rotacija oko proizvoljne osi za kut a

- os r se mora poklopiti sa globalnom osi x , zatim se treba rotirati za kut a oko osi x te na kraju vratiti u globalni koordinatni sustav

$$R_r, a = M * R_x(a) * M^{-1}$$

4.1.3. Quaternion

- proširenje kompleksnih brojeva trima imaginarnim komponentama i, j, k

- sastoji se od 4 komponente od kojih su tri imaginarne

4.2. Projekcija

- najviše se koristi prilikom iscrtavanja ili simuliranja sjena

- izražavaju se matricama

- ortografska i perspektivna projekcija

- ORTOGRAFSKA PROJEKCIJA NA RAVNINU $z=0$

$$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$