

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1 Definicija virtualnog okruženja.	2
1.1.1 Elementi simulacije virtualnog okruženja	2
1.1.2 Elementi sučelja čovjek-računalo	3
1.2 Organizacija pojmova	3
1.3 Primjene virtualnih okruženja	5
1.3.1 Film i televizija	6
1.3.2 Igre	6
1.3.3 Dizajn i projektiranje	6
1.3.4 Simulacija	8
1.3.5 Vizualizacija	11
1.3.6 Predstave, događaji i marketing	12
1.3.7 Ostalo.	12
1.4 Pregled sadržaja	13

I. dio: Osnove računalne grafike **15**

2. Modeliranje virtualne scene	17
2.1 Virtualna scena	18
2.2 Opis virtualne scene	19
2.3 Modeliranje i digitalni prikaz predmeta	19
2.3.1 Prikaz geometrije poligonima	21
2.3.2 Konstruktivna geometrija čvrstih tijela	22
2.3.3 Parametarske krivulje i plohe	22
2.3.4 Razdjelne plohe	23
2.3.5 Brišuće plohe	24
2.3.6 Volumenski prikazi.	25
2.3.7 Fraktali	25
2.3.8 Sustavi čestica	26
2.3.9 Modeliranje zasnovano na slikama	26
2.4 Model kamere	30
2.5 Model osvjetljenja.	31
2.5.1 Modeli izvora svjetlosti	32
2.5.2 Model odbijanja svjetlosti	33
2.5.3 Model materijala	34

3. Geometrijske transformacije

35

3.1 Općenito o transformacijama	36
3.2 Osnovne 2D geometrijske transformacije	36
3.2.1 Translacija	36
3.2.2 Rotacija	37
3.2.3 Promjena veličine	37
3.2.4 Smik	38
3.2.5 Kombinacije transformacija	38
3.3 Homogene koordinate	40
3.3.1 Osnovne 2D transformacije u homogenim koordinatama	40
3.3.2 Kombinacije 2D transformacija u homogenim koordinatama	41
3.4 Osnovne 3D geometrijske transformacije	41
3.4.1 Translacija	42
3.4.2 Rotacija	42
3.4.3 Promjena veličine	43
3.4.4 Smik	43
3.4.5 Kombinacije 3D transformacija	43
3.5 Matrica kao koordinatni sustav	44
3.5.1 Kombinacije transformacija koordinatnog sustava	45
3.6 Prikazi rotacije	45
3.6.1 Rotacija oko proizvoljne osi r za kut ϕ	46
3.6.2 Eulerovi kutovi	47
3.6.3 Quaternion	48
3.7 Projekcija	50
3.7.1 Ortografska projekcija	50
3.7.2 Perspektivna projekcija	51
3.8 Zaključno o transformacijama	52

4. Iscrtavanje virtualne scene

53

4.1 Što je iscrtavanje?	54
4.2 Praćenje zrake	55
4.2.1 Princip praćenja zrake	56
4.2.2 Računanje zrake kroz točku x, y u prozoru iscrtavanja	57
4.2.3 Ispitivanje dubine rekurzije	58
4.2.4 Nalaženje najbližeg presjeka zrake sa scenom	58
4.2.5 Računanje lokalnog osvjetljenja u točki presjeka	59
4.2.6 Ispitivanje utjecaja sjene	59
4.2.7 Računanje odbijene zrake	59
4.2.8 Računanje lomljene zrake	60
4.2.9 Kombiniranje lokalnog osvjetljenja i doprinosa odbijene i lomljene zrake	60
4.2.10 Zaključak	61
4.3 Grafički protočni sustav u stvarnom vremenu	61

4.3.1	Aplikacijska faza	62
4.3.2	Geometrijska faza	62
4.3.2.1	Transformacija u koordinatni sustav kamere	63
4.3.2.2	Sjenčanje vrhova.	64
4.3.2.3	Projekcija.	65
4.3.2.4	Obrezivanje	65
4.3.2.5	Preslikavanje na zaslon	66
4.3.3	Faza rasteriziranja	66
4.3.3.1	Priprema trokuta	67
4.3.3.2	Prolaz trokuta	67
4.3.3.3	Sjenčanje točaka	68
4.3.3.4	Stapanje	69
4.4	Osnovne tehnike.	69
4.4.1	Sjenčanje.	70
4.4.2	Preslikavanje tekstura.	70
4.4.2.1	Perspektivno ispravna interpolacija teksturnih koordinata	71
4.4.3	Određivanje vidljivosti	72
4.4.4	Prozirnost	73
4.4.5	<i>Antialiasing</i>	74
4.4.5.1	Naduzorkovanje	75
4.4.5.2	Tehnika akumulacijskog spremnika	76
4.4.5.3	Višestruko uzorkovanje.	76
4.4.5.4	Uzorkovanje prekrivenosti.	76
4.5	Programska sučelja za 3D grafiku	77
4.5.1	Programska sučelja niske razine	78
4.5.1.1	DirectX	78
4.5.1.2	OpenGL	79
4.5.2	Programska sučelja visoke razine	80
4.6	Ostale metode iscrtavanja	81
4.6.1	Isijavanje	81
4.6.2	Vizualizacija volumena	82

5. Grafički procesor

83

5.1	Uvod	84
5.2	Grafički protočni sustav na grafičkom procesoru	84
5.2.1	Procesor za sjenčanje	86
5.2.1.1	Tipovi podataka i operacije	87
5.2.1.2	Memorija.	87
5.2.1.3	Kontrola toka	88
5.2.1.4	Model izvođenja	88
5.2.2	Tok podataka kroz protočni sustav.	89
5.2.2.1	Procesor vrhova	89
5.2.2.2	Procesor geometrije.	90

5.2.2.3	Izlaz struje podataka	91
5.2.2.4	Procesor točaka.	91
5.2.2.5	Stapanje	92
5.2.3	Evolucija programabilnog grafičkog sklopovlja	92
5.3	Programski jezici za sjenčanje.	93
5.3.1	Povijest.	94
5.3.2	Efekti	94
5.3.3	Primjer programa za sjenčanje	95
5.3.3.1	Konstante	96
5.3.3.2	Program za sjenčanje vrhova	97
5.3.3.3	Program za sjenčanje točaka	98
5.3.3.4	Definicija tehnike	99
5.3.4	Kombiniranje više svjetala i materijala	99
5.3.4.1	Dinamičko grananje.	100
5.3.4.2	Übershader	101
5.3.4.3	Višeprolazno osvjetljenje.	101
5.3.4.4	Odgođeno sjenčanje	102
5.3.5	Općeniti proračuni na grafičkom procesoru.	103
5.4	Grafičko sklopovlje	104
5.4.1	Komunikacija s grafičkim sklopovljem	104
5.4.2	Grafički procesor	105
5.4.3	Memorija.	106
5.4.3.1	Spremnik boje	107
5.4.3.2	Z-spremnik	108
5.4.3.3	Dvostruko i trostruko spremanje	108
5.4.3.4	Stereo spremnici	109
5.4.3.5	Spremnik predloška	109
5.4.3.6	Memorija za teksture	110
5.4.3.7	Memorijske potrebe (primjer).	110
5.4.4	Upravljačka jedinica videa.	111
5.4.4.1	Katodni zasloni	111
5.4.4.2	LCD zasloni	112

6. Organizacija scene

113

6.1	Organizacija scene – uvod.	114
6.2	Hijerarhija obujmica	115
6.3	Stabla podjele prostora	116
6.3.1	BSP stablo	116
6.3.2	Oktalno stablo	118
6.4	Graf scene	119
6.4.1	Struktura grafa scene	121
6.4.2	Tipovi čvorova	122

6.4.2.1	Listovi	122
6.4.2.2	Račve	122
6.4.3	Materijali i teksture	123
6.4.4	Prolaz kroz graf scene	123
6.4.5	Obujmice u grafu scene	124
6.5	Formati za zapis scene	125
6.5.1	Vlasnički formati	126
6.5.2	Otvoreni formati	126
6.5.2.1	FBX	126
6.5.3	Normirani formati	127
6.5.3.1	VRML/X3D	127
6.5.3.2	COLLADA	128
6.5.3.3	MPEG-4	129

7. Specijalni efekti **131**

7.1	Što je specijalno?	132
7.2	Efekti preslikavanja teksture	132
7.2.1	Poopćeno preslikavanje teksture	133
7.2.1.1	Projekcija u parametarski prostor	133
7.2.1.2	Funkcija korespondencije	134
7.2.1.3	Dohvat teksela	135
7.2.1.4	Primjena teksela	135
7.2.2	Teksturne projekcije	136
7.2.3	Uzorkovanje i filtriranje teksture	136
7.2.3.1	Uvećanje teksture	137
7.2.3.2	Umanjenje teksture	138
7.2.4	Kompresija teksture	140
7.2.5	Animacija teksture	141
7.2.6	Preslikavanje materijala	141
7.2.7	Preslikavanje prozirnosti	142
7.2.8	Preslikavanje svjetlosti	143
7.2.9	Preslikavanje okoline	144
7.2.9.1	Kuglasto preslikavanje	144
7.2.9.2	Kockasto preslikavanje	144
7.2.10	Preslikavanje neravnina	145
7.2.10.1	Preslikavanje normala	146
7.2.10.2	Preslikavanje neravnina i okoline	148
7.2.10.3	Preslikavanje paralakse	148
7.2.10.4	Preslikavanje reljefa	149
7.2.10.5	Preslikavanje pomaka	150
7.3	Magla	151
7.4	Tehnike panoa	152

7.4.1 Pano poravnat sa zaslonom	153
7.4.2 Globalno orijentirani pano.	153
7.4.3 Osni pano	154
7.5 Sustavi čestica	154
7.5.1 Animacija čestica.	154
7.5.2 Iscrtavanje čestica	155
7.6 Efekti obrade slike	156
7.6.1 Preslikavanje tonova i visoki dinamični opseg	156
7.6.2 Prelijevanje svjetlosti	158
7.6.3 Zamućenost pri gibanju	159
7.6.4 Defokusiranost	160
7.7 Zrcaljenje	161
7.7.1 Zrcaljenje na ravnini	161
7.8 Sjene	163
7.8.1 Metoda prostora sjene	164
7.8.2 Metoda teksture sjena	166
7.8.2.1 Osnovni algoritam.	166
7.8.2.2 <i>Antialiasing</i> sjena.	166
7.8.2.3 Problem samosjenčanja	168

8. Ubrzavanje iscrtavanja

169

8.1 Kako iscrtavati brže?	170
8.2 Optimalan zapis poligona	171
8.2.1 Trake trokuta	171
8.2.2 Lepeze trokuta	172
8.2.3 Mreže trokuta.	172
8.2.3.1 Iscrtavanje mreže trokuta	173
8.2.3.2 Učinkovitost indeksirane geometrije	174
8.3 Selektivno odbacivanje poligona	175
8.3.1 Odbacivanje stražnjih poligona	175
8.3.2 Odbacivanje po projekcijskom volumenu	176
8.3.3 Portalno odbacivanje	177
8.3.4 Odbacivanje po prekrivenosti.	177
8.3.4.1 Sklopovska provjera prekrivenosti.	178
8.3.4.2 Z-odbacivanje i rani-Z.	179
8.4 Tehnike razina detalja.	179
8.4.1 Pojednostavljanje mreža trokuta.	180
8.4.2 Odabir razina detalja	181
8.4.2.1 Udaljenost predmeta od kamere.	182
8.4.2.2 Površina projekcije obujmice	182
8.4.3 Zamjena razina detalja	183
8.4.3.1 Diskretne razine detalja	183

8.4.3.2	Miješanje razina detalja	183
8.4.3.3	α -razine detalja	184
8.4.3.4	Geomorfne razine detalja	184
8.4.4	Srodne tehnike	184
8.5	Optimizacija protočnog sustava	185
8.5.1	Mjerenje performansi	186
8.5.2	Traženje uskog grla	186
8.5.2.1	Testiranje aplikacijske faze	187
8.5.2.2	Testiranje geometrijske faze	187
8.5.2.3	Testiranje faze rasterizacije	187
8.5.3	Optimizacija aplikacijske faze	187
8.5.3.1	Paralelizam u aplikacijskoj fazi	188
8.5.3.2	Optimizacija promjene stanja	188
8.5.4	Optimizacija geometrijske faze	190
8.5.5	Optimizacija faze rasterizacije	190

9. Detekcija presjeka i sudara 193

9.1	Detekcija presjeka	194
9.1.1	Opća pravila računanja presjeka	194
9.1.2	Presjek zrake kuglom, kvadrom, trokutom, poligonom	194
9.1.2.1	Presjek zraka-kugla	195
9.1.2.2	Presjek zraka-kvadar	196
9.1.2.3	Presjek zraka-trokut	197
9.1.2.4	Presjek zraka-poligon	198
9.1.2.5	Presjek ravnina-kvadar	198
9.1.2.6	Presjek trokut-trokut	199
9.1.3	Presjeci obujmica	199
9.1.3.1	Presjek kugla-kugla	200
9.1.3.2	Presjek kugla-kvadar	200
9.1.3.3	Presjek kvadar-kvadar, koji su paralelni s osima	200
9.1.3.4	Presjek kvadar-kvadar	201
9.1.4	Presjek obujmica-projekcijski volumen	202
9.1.4.1	Presjek kugla-projekcijski volumen	204
9.1.4.2	Presjek kvadar-projekcijski volumen	205
9.2	Detekcija sudara	205
9.2.1	Aproksimacija predmeta zrakama	206
9.2.2	Hijerarhija obujmica	207
9.2.2.1	Test sudara dviju hijerarhija	207

10. Umrežena virtualna okruženja

211

10.1 Uvod	212
10.1.1 Korisnikovo viđenje UVO-a.	212
10.1.2 Kako radi sustav UVO-a?	212
10.2 Tehnički izazovi višekorisničkih UVO-a	213
10.2.1 Grafički prikaz korisnika u virtualnom okruženju	214
10.2.2 Interakcija korisnika s virtualnim okruženjem	214
10.2.3 Podrška za "prirodnu" komunikaciju među korisnicima.	214
10.2.4 Karakteristike tehnologije i načina umrežavanja	215
10.2.5 Prilagodljivost veličini.	216
10.3 Osnovni model UVO-a	216
10.3.1 Usklađivanje instanci UVO putem mreže	217
10.3.2 Filtriranje prema području interesa	219
10.4 Upravljanje zajedničkim dinamičkim stanjem	220
10.4.1 Odnos kašnjenja, konzistentnosti i mrežnog opterećenja	220
10.4.2 Podatkovni modeli.	222
10.4.2.1 Model sa zajedničkim podacima	222
10.4.2.2 Model s repliciranim podacima	224
10.4.3 Predikcija i algoritam mrtve procjene	226
10.4.4 Kontrola pristupa i vlasništvo nad objektima	228
10.4.5 Kauzalnost	230
10.4.6 Percepcija poštene igre	231
10.4.7 Kompenzacija kašnjenja u vizualnom prikazu.	232
10.5 Oblikovanje programskog rješenja UVO-a	233
10.5.1 Strukturiranje virtualnog prostora	233
10.5.1.1 Podijeljeni poslužitelji	233
10.5.1.2 Jednolična geometrijska struktura	234
10.5.1.3 Slobodna geometrijska struktura.	234
10.5.2 Arhitektura raspodijeljene aplikacije UVO-a	234
10.5.2.1 Klijent-poslužitelj.	234
10.5.2.2 Ravnopravni procesi.	235
10.5.3 Vrste mrežnog prometa i komunikacijski protokoli	236
10.5.4 Način distribucije poruka.	237
10.5.4.1 Jednoodredišna komunikacija	238
10.5.4.2 Višeodredišno razaslanje	238
10.5.5 Izvedba simulacijske petlje UVO-a	239
10.6 Odabrani primjeri umreženih virtualnih okruženja	240
10.6.1 Povijesni pregled umreženih virtualnih okruženja	240
10.6.2 Second Life	242
10.6.3 World of Warcraft.	243

11. Virtualna stvarnost

245

11.1 Što je virtualna stvarnost?	246
11.1.1 Definicija i princip virtualne stvarnosti	246
11.1.2 Povijest virtualne stvarnosti	247
11.2 Uređaji za virtualnu stvarnost.	250
11.2.1 Ulazni uređaji	251
11.2.1.1 Elektromagnetski sljednici	251
11.2.1.2 Akustički sljednici	252
11.2.1.3 Optički sljednici	252
11.2.1.4 Mehanički sljednici	253
11.2.1.5 Inercijski sljednici.	254
11.2.1.6 Senzori sile/momenta sile	254
11.2.1.7 Senzori položaja ruke	254
11.2.1.8 Senzori pokreta	255
11.2.1.9 Ostalo	255
11.2.1.10 Optički sljednici pokreta lica	256
11.2.2 Izlazni uređaji	257
11.2.2.1 Zašto vidimo 3D?.	257
11.2.2.2 Simulacija 3D vida na računalu	258
11.2.2.3 Zaslona na glavi	259
11.2.2.4 Stereo zaslona	259
11.2.2.5 Projekcijski sustavi	260
11.2.2.6 Zvuk	261
11.2.2.7 Haptički izlazni uređaji	262
11.2.2.8 Ostalo	263
11.3 Programiranje virtualne stvarnosti.	263
11.4 Primjene	264
11.4.1 Medicina	264
11.4.2 Vojna tehnologija.	264
11.4.3 Obrazovanje i obuka.	264
11.4.4 Virtualna baština	265
11.4.5 Zabava	265
11.4.6 Dizajn i arhitektura.	265
11.4.7 Marketing	265
11.4.8 Ograničenja primjene virtualne stvarnosti.	265

12. Proširena stvarnost

267

12.1 Što je proširena stvarnost?.	268
12.1.1 Definicija proširene stvarnosti	268
12.1.2 Kratka povijest proširene stvarnosti	269
12.2 Kako radi proširena stvarnost?	270
12.2.1 Miješanje slike	271

12.2.1.1	Optičko miješanje	271
12.2.1.2	Video miješanje	272
12.2.1.3	Projekcijsko miješanje	273
12.2.1.4	Usporedba optičkog, video i projekcijskog miješanja	274
12.2.2	Prikaz slike	274
12.2.2.1	Zaslon na glavi	274
12.2.2.2	Zaslon u oku	275
12.2.2.3	Zaslon u prostoru	276
12.2.2.4	Zaslon u ruci	276
12.2.2.5	Projekcijski prikaz	277
12.2.3	Poravnavanje	278
12.2.3.1	Slijeđenje	279
12.2.3.2	Pogreške poravnavanja	279
12.2.4	Prikupljanje podataka	281
12.3	Primjene	281
12.3.1	Medicina	282
12.3.2	Proizvodnja i održavanje	282
12.3.3	Arhitektura	283
12.3.4	Navigacija	283
12.3.5	Robotika	284
12.3.6	Vojne primjene	284
12.3.7	Oglašavanje i druge komercijalne primjene	285

13. Interakcija u virtualnom okruženju

287

13.1	Interakcija u virtualnoj sceni	288
13.2	Ulazne jedinice	288
13.2.1	Karakterizacija ulaznih jedinica	289
13.3	Odabir	289
13.3.1	Odabir virtualnom rukom	290
13.3.2	Odabir pokazivanjem	291
13.3.2.1	Metoda odašiljanja zrake	292
13.3.3	Odabir u ravnini slike	293
13.3.3.1	Iscrtavanje na stog imena	293
13.3.3.2	Kodiranje bojom	294
13.3.4	Indirektne metode odabira	294
13.3.4.1	Odabir pomoću liste	295
13.3.4.2	Odabir govorom	295
13.4	Manipulacija predmeta	295
13.4.1	Manipulacija u 3D sceni	295
13.4.2	Manipulacija sa smanjenim stupnjevima slobode	296
13.4.3	Odabir koordinatnog sustava	296
13.5	Navigacija	297

13.5.1 Osnovni principi navigacije	298
13.5.1.1 Metoda "scena u ruci"	298
13.5.1.2 Metoda "kamera u ruci"	298
13.5.1.3 Upravljanje vozilom	298
13.5.2 Hibridne metode usmjeravanja	298
13.5.3 Orijentacija u prostoru	299
13.5.4 Ograničenja	299

14. Virtualni ljudi

301

14.1 Simulacija ljudi na računalu	302
14.1.1 Primjene virtualnih ljudi	303
14.2 Modeliranje ljudskih likova	305
14.2.1 3D model	305
14.2.1.1 Parametarske plohe	306
14.2.1.2 Razdjelne plohe.	307
14.2.1.3 Mreže poligona	307
14.2.2 Stvaranje modela.	308
14.2.2.1 Ručno digitaliziranje.	309
14.2.2.2 Fotogrametrija	309
Poluautomatska obrada slika	310
Strukturirano svjetlo	312
14.2.2.3 Lasersko skeniranje	312
14.2.2.4 Ručna izrada.	313
14.2.2.5 Modifikacija postojećih modela.	313
Interpolacija	314
Deformacija univerzalnog modela	314
Lokalne deformacije	315
Statistički modeli populacije	315
14.3 Animacija	316
14.3.1 Animacija lica	316
14.3.1.1 Animacija lica na niskoj razini	318
Interpolacija	319
Izravna parametrizacija	320
Pseudomišići.	320
Animacija kostiju (<i>skinning</i>)	321
14.3.1.2 Animacija lica na visokoj razini	321
Ručna produkcija	322
Audio-vizualna sinteza govora	322
Animacija pomoću glasa	324
Lutkarske tehnike.	325
Animacija primjerom	325
14.3.2 Animacija tijela	327
14.3.2.1 Kostur.	328

14.3.2.2 Animacija tijela na niskoj razini	328
Empirički modeli	329
Fizički modeli	332
14.3.2.3 Animacija tijela na visokoj razini	332
Snimljene animacije	332
Proceduralne animacije	333
Hibridni pristup	334
14.3.3 Animacija odjeće	336
14.3.4 Animacija kose	336
14.4 Simulacija ponašanja	337
14.4.1 Animacija ponašanja u interaktivnim sustavima	338
14.4.2 Utjelovljeni razgovorni agenti	339
14.4.3 Simulacija ponašanja u igrama	340
14.5 Norme za virtualne ljude	341
14.5.1 MPEG-4	342
14.5.2 VRML	345
14.5.3 Sustav Facial Action Coding System (FACS)	345

15. Vizualizacija 347

15.1.1 Tijek vizualizacije	350
15.1.2 O podacima	352
15.1.3 Znanstvena vizualizacija i vizualizacija informacija.	353
15.2 Vizualizacija toka	355
15.3 Vizualizacija volumena	359
15.4 Vizualizacija višedimenzionalnih podataka	364
15.4.1 Fokus i kontekst.	365
15.4.2 Izabrani prikazi	367
15.4.3 Koordinirani višestruki prikazi	370

Rječnik engleskih pojmova 373

Literatura 380

Kazalo pojmova 397

Životopisi autora 403