



1. Uvod



1.1 Definicija virtualnog okruženja

Da bismo definirali pojam virtualnog okruženja, krenut ćemo od jednostavnijeg pojma virtualnog predmeta. Virtualni predmet je predmet definiran u memoriji računala na takav način da ga računalo može na zaslonu prikazati korisniku uz mogućnost interakcije. Definicija predmeta u osnovi se sastoji od opisa njegove geometrije i materijala od kojega je napravljen. Interaktivnim prikazom smatra se prikaz prilikom kojeg korisnik u stvarnom vremenu upravlja parametrima prikaza, npr. kutom gledanja. Za to je potrebno da računalo iscrtava sliku barem 10 puta u sekundi, jer u protivnom korisnik nema dojam neposrednog upravljanja prikazom (ovo je krajnji minimum, obično se radi s većim brzinama iscrtavanja, a zahtjevi ovise i o konkretnoj primjeni).

Kao jednostavan primjer virtualnog predmeta uzimimo običnu kocku. Ona može biti jednostavno definirana veličinom brida i bojom, npr. "crvena kocka duljine brida 1 m". Iz ovog opisa računalo može takvu crvenu kocku iscrtati na zaslonu, a korisnik je može pomoći miša okretati i razgledavati sa svih strana. Kao što ćemo kasnije vidjeti, postoje i daleko složeniji i općenitiji načini definiranja virtualnih predmeta.

Virtualno okruženje zasniva se na potpuno istom principu, samo što se radi sa složenijim virtualnim predmetima, odnosno skupom virtualnih predmeta koji mogu prikazivati npr. čitavu zgradu sa stanovima i namještajem, ili čak čitav grad koji može biti model stvarnog grada ili pak u potpunosti izmišljen. Sadržaj virtualnog okruženja ovisi o primjeni, a s obzirom da u virtualnom okruženju nema fizičkih ograničenja poput gravitacije, sadržaj je u principu ograničen jedino maštom kreatora.

1.1.1 Elementi simulacije virtualnog okruženja

Vizualna simulacija, odnosno prikaz virtualnog okruženja obično je najvažniji element simulacije, te ćemo se njime najviše i baviti. No u virtualnom okruženju postoje i drugi elementi: zvučna, haptička i fizikalna simulacija.

Zvučna simulacija uključuje reprodukciju ili generiranje zvukova u virtualnom okruženju, a može uključivati i tehnike trodimenzionalnog zvuka. Ovim se tehnikama podešavaju frekvencijska svojstva stereo zvučnog signala na takav način da slušatelj dobiva dojam precizne lokalizacije izvora zvuka. Dakle, pojedini zvukovi se mogu precizno smjestiti u prostor oko korisnika. Čest primjer zvučne simulacije je i sinteza govora.

Haptička simulacija uključuje simulaciju dodira i/ili sile. U većini virtualnih okruženja ova simulacija nije uključena, no pomoći relativno složene i skupe opreme može se postići da korisnik ne samo vidi, nego i dodirom osjeti i opipa virtualni predmet. Simulacija dodira (engl. *tactile feedback*) obično se temelji na vibrirajućim ili termičkim elementima koje korisnik nosi na prstima i koji se aktiviraju kada korisnik "dodirne" virtualni predmet, dakle kada se izračuna da položaj korisnikove ruke presjeca položaj na kojoj je simuliran predmet. Naravno, za ovo je potrebno precizno praćenje položaja korisnika, odnosno ruku. Simulacija sile (engl. *force feedback*) isto tako uključuje praćenje položaja, no ovdje su uključeni aktivni elementi (motori, elektromagneti...) koji djeluju silom na korisnikovu ruku ili na alat kojim barata.

Fizikalna simulacija primjenjuje se relativno često. Ovim se postupcima u manjoj ili većoj mjeri virtualnim predmetima daju prirodna fizikalna svojstva. Najčešće se simuliraju ponašanje prilikom sudara (od najjednostavnijeg zaustavljanja prolazaka kroz zidove sve do simulacija odbijanja pa čak i deformacija/loma prilikom sudara), te masa i gravitacija.

1.1.2 Elementi sučelja čovjek-računalo

U području virtualnih okruženja koristi se vrlo širok spektar sučelja čovjek-računalo. Najvažniji i najčešće upotrebljavani su još uvijek klasični zaslon, miš i tipkovnica. Od izlaznih jedinica vrlo se često koriste i projekcijska platna u raznim konfiguracijama: od klasičnog platna, polukružnog, kupolastog, sve do sobe potpuno okružene projekcijama (tzv. CAVE). Engleski naziv *Head Mounted Display* (HMD) uobičajen je za jedinice koje se nose na glavi, te korisnik pred svakim okom, uz korištenje odgovarajuće optike, vidi jedan zaslon. Zvučni izlaz su obično stereo zvučnici ili slušalice. Haptički izlazi su uređaji koji simuliraju dodir, odnosno djeluju silom, kao što je objašnjeno u prethodnom odlomku.

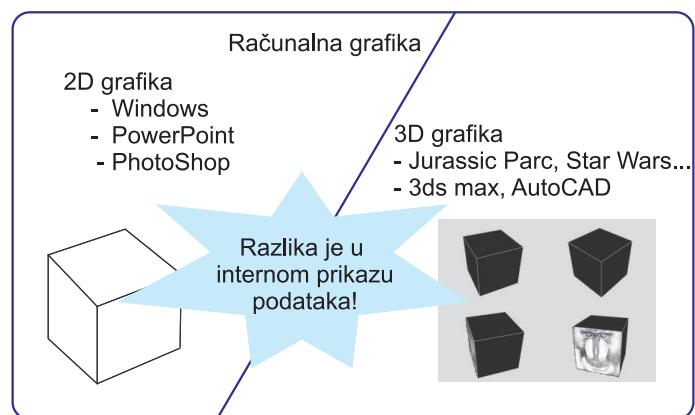
Od ulaznih jedinica, uz standardni miš i tipkovnicu postoji čitav niz ulaznih jedinica s različitim stupnjevima slobode gibanja: od popularnih igračih palica i ostalih specijaliziranih naprava za igre, do raznih vrsta 3D miševa, pa sve do odijela koja u potpunosti prate sve pokrete ljudskog tijela. O raznim vrstama ulaznih i izlaznih jedinica bit će više riječi u poglavlju o virtualnoj stvarnosti (11).

1.2 Organizacija pojmova

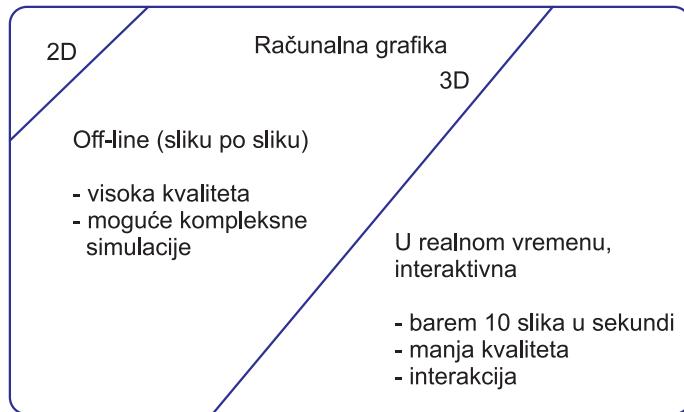
Ova knjiga izravno ili neizravno dodiruje vrlo širok spektar pojmova vezanih uz virtualna okruženja: od 2D/3D računalne grafike, animacije, virtualnih svjetova, sve do virtualne i proširene stvarnosti i virtualnih ljudi. U ovom ćemo poglavlju sve te pojmove definirati i organizirati prema njihovim međusobnim odnosima.

Ukoliko ne računamo spomenutu zvučnu, haptičku i fizikalnu simulaciju, koje će biti samo letimično obrađene, najširi pojam s kojim se susrećemo je računalna grafika [1] [2]. Ona se dijeli na dvodimenzionalnu (2D) i trodimenzionalnu (3D) grafiku. Slika 1 prikazuje nekoliko primjera.

S obzirom da je zaslon računala očito dvodimenzionalan, postavlja se pitanje kako to da uopće govorimo o 3D grafici, kada je sve što na zaslonu vidimo zapravo 2D. Bitna razlika je u internom prikazu podataka. Naime, kod 3D grafike računalo ima potpunu trodimenzionalnu definiciju predmeta i može ga prikazati sa svih strana, kao što je slučaj s desnom kockom na slici 1, za razliku od lijeve, koja



Slika 1: Računalna grafika – podjela na 2D i 3D



Slika 2: 3D računalna grafika – podjela na off-line i grafiku u stvarnom vremenu

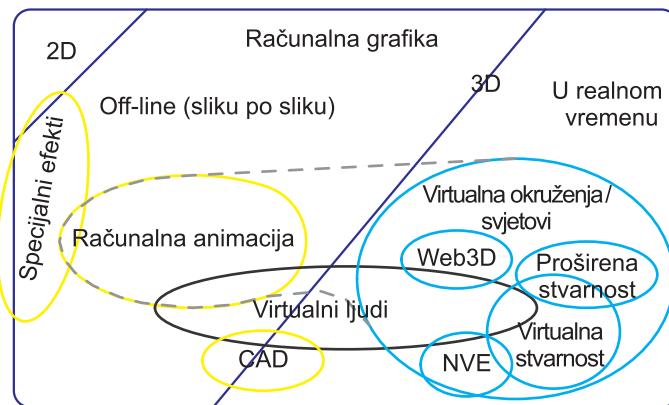
na prvi pogled izgleda jednako, ali je ona za računalo samo skup 2D crta, dakle računalo "ne zna" da se radi o kocki.

2D grafika nije u fokusu interesa ove knjige. 3D grafika [3] dijeli se na dva bitna područja: tzv. *off-line* grafiku i grafiku u stvarnom vremenu (slika 2). Kod *off-line* grafike, vrijeme iscrtavanja jedne slike puno je veće nego kod grafike u stvarnom vremenu, te se može kretati od nekoliko sekundi, pa čak i do nekoliko sati u ekstremnim slučajevima. Ovaj se postupak koristi za proizvodnju pojedinačnih slika, no najčešća uporaba je u proizvodnji video sekvenci odnosno filma. Pritom se svaka slika iscrtava zasebno, a zatim se slažu u video sekvencu. Moguće su vrlo kompleksne simulacije i postiže se izuzetno visoka kvaliteta slike.

Grafikom u stvarnom vremenu smatra se iscrtavanje brzinom od barem 10 slika u sekundi (ovo je zaista donja granica; u praksi se obično koriste veće brzine, npr. 30 ili čak 60 slika u sekundi za pojedine primjene). Zbog potrebne brzine iscrtavanja postiže se manja kvaliteta slike, no zato mogućnost interakcije otvara široke mogućnosti primjene koje se *off-line* grafikom ne bi mogle ostvariti. U ovoj knjizi fokus je na grafici u stvarnom vremenu, premda se mnoge tehnike koje će biti objašnjene koriste podjednako i u *off-line* grafici.

Slika 3 zorno prikazuje glavna područja unutar 3D računalne grafike i njihove međusobne odnose. U primjene *off-line* grafike spadaju prvenstveno računalna animacija (engl. *computer animation*) i specijalni efekti. Računalnom animacijom uobičajeno se naziva čitav postupak pripreme 3D scene, njene animacije i *off-line* iscrtavanja, te produkcije video sekvence. Koristi se za izradu filmova ili dijelova filmova, u TV programima i vrlo često u reklamama i promotivnim materijalima. Specijalni filmski efekti izuzetno su široko i fascinantno područje u kojem su dopuštena sva sredstva, najčešće uz izuzetno visoke troškove, pod uvjetom da rezultat izgleda savršeno i da je proizведен na vrijeme. Računalna grafika se odavno koristi u ovom području, počevši od 2D a kasnije sve više i 3D, tako da bi danas produkcija specijalnih efekata bez računala bila nezamisliva (iako se dio efekata još uvjek ostvaruje "klasičnim" metodama modeliranja, pirotehnikе itd.).

Najveće područje primjene grafike u stvarnom vremenu upravo su virtualna okruženja, tako da su ovi pojmovi gotovo sinonimni (s time da virtualna okruženja uključuju još i zvuk, dodir i fizikalnu simulaciju). Virtualna okruženja često se nazivaju virtualnim svjetovima i uključuju interaktivnu simulaciju predmeta i prostora. U literaturi



Slika 3: Područja računalne grafike



(pogotovo popularnoj) ponekad se i računalna animacija naziva virtualnim okruženjem ili virtualnim svijetom, premda ovo strogo gledajući nije točno jer se klasična animacija radi *off-line* grafikom.

Umrežena virtualna okruženja (engl. *Networked Virtual Environments*, NVE) omogućuju sudjelovanje više korisnika u virtualnom okruženju putem mreže. O ovoj tehnologiji više u poglavlju 10.

Virtualna stvarnost je skup tehnologija kojima se korisnikova slika stvarnosti nastoji što potpunije zamijeniti slikom virtualnog okruženja. Izlaz generiran na računalu zamjenjuje sliku stvarnosti. Virtualna stvarnost je, dakle, podkategorija virtualnog okruženja. Virtualna stvarnost uključuje najrazličitije ulazno/izlazne uređaje koji korisnika izravno spajaju na računalo, i neposrednu interakciju korisnika i računala. O ovome će biti riječi u poglavlju 11.

Proširena stvarnost je podkategorija virtualnog okruženja bliska virtualnoj stvarnosti, kod koje se slika virtualnog svijeta miješa sa stvarnom slikom svijeta. Pritom dodatne informacije dobivamo izravno prikazane u okolini. Proširena stvarnost obrađena je u poglavlju 12.

Virtualni ljudi su simulacija ljudskih likova na računalu. Primjene nalaze u filmu, igrama, komunikacijama, te u raznim drugim industrijama. Obrađeni su u poglavlju 14.

CAD (*Computer Aided Design*) tehnologije koriste 3D grafiku u stvarnom vremenu prilikom postupka dizajna, a ponekad se koriste i *off-line* tehnike za izradu vizualnih materijala (slike, video) na bazi izrađenih projekata, a prije gradnje prototipa. Ovo je pogotovo često u arhitekturi.

1.3 Primjene virtualnih okruženja

Primjene virtualnih okruženja vrlo su široke i mogu se podijeliti u sljedeća područja:

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

Pregled ovih područja primjene slijedi. Pored toga, u poglavljima o virtualnoj i proširenoj stvarnosti, o virtualnim ljudima, te o vizualizaciji, dodatno su detaljnije objašnjene primjene ovih specifičnih tehnologija.



a)



b)



c)

Slika 4: Primjena na filmu i televiziji: a) scena iz filma Star Wars, b) primjer snimanja filma uz korištenje plave pozadine za dodavanje virtualnih elemenata (snimanje filma The Spiderwick Chronicles), c) virtualni prezentator (MIRALab, Sveučilište u Ženevi)

projektira na računalu. Primjeri uključuju automobilsku industriju, arhitekturu, tekstilnu industriju. Tako je, na primjer, moguće opremiti stan ili zgradu virtualnim namještajem (slika 6a) te isprobati razne kombinacije prije stvarne nabavke. U tekstilnoj industriji eksperimentira se s virtualnim prototipovima odjeće koja se može virtualno isprobati (slika 6b) prije nego što se model stvarno skroji i sašije.

1.3.1 Film i televizija

Premda se film, za razliku od virtualnih okruženja, ne radi u stvarnom vremenu, osnovne tehnologije modeliranja scene i pokreta su iste ili slične (slika 4a). Na televiziji se mogu raditi interaktivni programi u stvarnom vremenu, kao što su virtualna pozornica ili virtualni prezentatori. Virtualna pozornica radi se tako da se prezentator snima ispred plavo ili zeleno obojenog zida ili platna, te se zatim postupkom video miješanja oko prezentatora isertava virtualna pozornica (slika 4b). Virtualni prezentatori mogu se pripremiti unaprijed ili interaktivno, a koriste se za uvrštvanje u program raznih imaginarnih likova ili pak poznatih osoba, odnosno njihovih karikatura (slika 4c). Izuzetno česta je i pojавa računalne animacije u televizijskim reklamama. Posebno je zanimljiva i primjena proširene stvarnosti, pomoću koje se u televizijske prijenose uživo mogu ubaciti dodatni elementi, na primjer virtualna crta cilja u raznim vrstama utrka, ili virtualne reklame koje se u stvarnom vremenu dodaju na panoe postavljene na terenu tako da televizijska publika vidi drugačije reklame od onih na stvarnom terenu, a pritom se reklame mogu vrlo jednostavno mijenjati (slika 323).

1.3.2 Igre

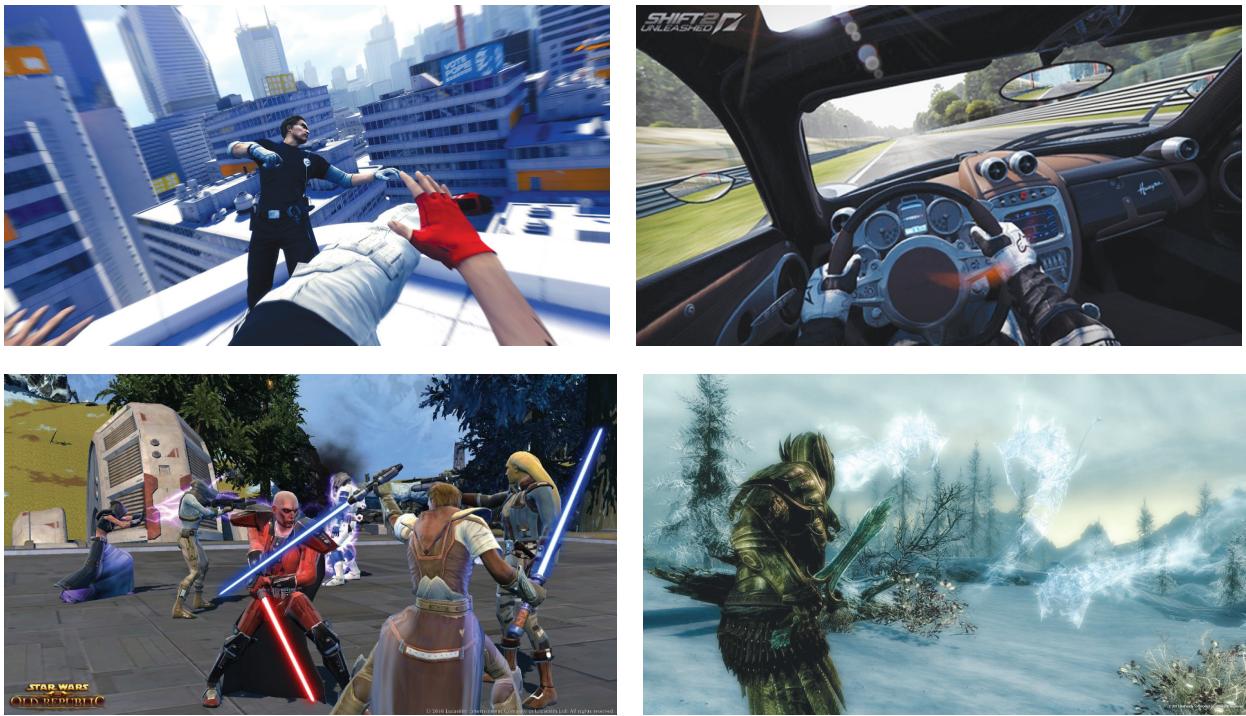
Računalne igre koriste najnaprednije tehnologije grafike u stvarnom vremenu i predstavljaju vrlo inovativno područje razvoja, ujedno i jedno od tržišno najzanimljivijih područja (slika 5). One u velikoj mjeri daju poticaj razvoju tehnologije grafike u stvarnom vremenu.

Nekada se svaka igra programski razvijala od početka do kraja kao cjelina. Danas se najčešće koristi tzv. jezgra igre (engl. *game engine*), koja uključuje podršku za grafiku i interakciju. Na jezgru igre modularno se nadovezuje logika svake pojedine igre. Tvrte koje razvijaju igre najčešće koriste jezgre vlastite izrade, a često su razne jezgre igre dostupne i kao komercijalni proizvodi.

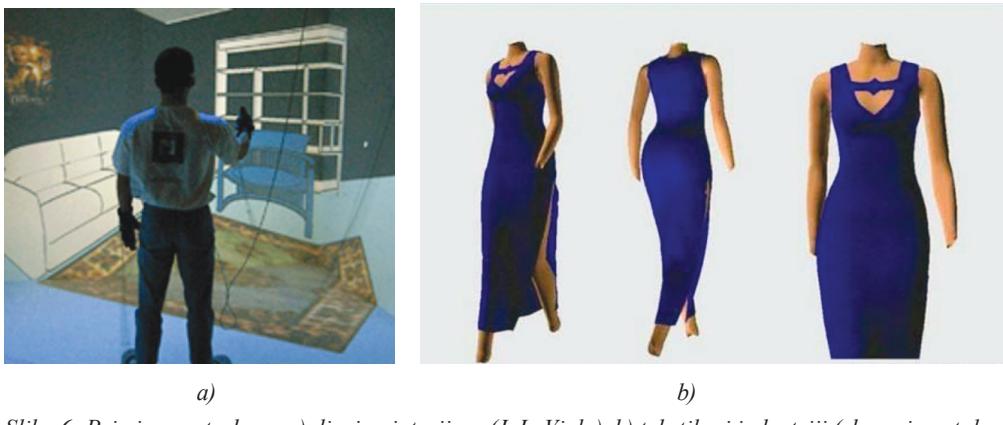
1.3.3 Dizajn i projektiranje

U području dizajna i projektiranja danas se većina proizvoda

projektira na računalu. Primjeri uključuju automobilsku industriju, arhitekturu, tekstilnu industriju. Tako je, na primjer, moguće opremiti stan ili zgradu virtualnim namještajem (slika 6a) te isprobati razne kombinacije prije stvarne nabavke. U tekstilnoj industriji eksperimentira se s virtualnim prototipovima odjeće koja se može virtualno isprobati (slika 6b) prije nego što se model stvarno skroji i sašije.



Slika 5: Primjeri scena iz računalnih igara



Slika 6: Primjer upotrebe u: a) dizajnu interijera (J. LaViola), b) tekstilnoj industriji (eksperimentalna primjena, MIRALab, Sveučilište u Ženevi)



1.3.4 Simulacija

Grafičke simulacije vezane uz simulacije određenih sustava i procesa koriste se u najrazličitijim područjima. U vojnim primjenama (slika 7) postoje simulatori raznog oružja, a vrše se i taktičke i strategijske simulacije. Sve se ovo koristi u obuci vojnika i časnika. Simulacije leta i upravljanja raznim vozilima u širokoj su primjeni, kako u vojne tako i u civilne svrhe. Simulacije određenih situacija koje bi se teško ponovile u stvarnosti koriste se za obuku u područjima kao što su gašenje požara, održavanje nuklearnih elektrana i drugih pogona, upravljanje svemirskim letjelicama i rad u njima, antiterorističke jedinice itd. Slične simulacije koriste se i u psihijatriji za liječenje raznih tegoba, uključujući PTSP i razne vrste fobija kao što su strah od letenja i visine, klaustrofobija, strah od javnog nastupa itd. Pacijenti se pritom liječe postupnim izlaganjem strašnoj situaciji pomoću simulacije (slika 8). U medicini se simulacija koristi i za obuku vršenjem virtualnih operacija (slika 10), pri čemu kirurg vidi simulaciju organa na kojima vrši operaciju, a pomoću haptičke simulacije osjeća otpor tkiva na instrumentu s kojim radi. Prilikom izrade raznih proizvoda rade se virtualni prototipovi kojima se može ispitati funkcionalnost proizvoda, a često i ergonomija. Na primjer, u model stroja ili automobila mogu se postaviti virtualni ljudi s mjerama prema statističkom modelu populacije te ustanoviti hoće li većina populacije moći ergonomski koristiti taj stroj ili automobil (slika 9a). U planiranju proizvodnih pogona, prije same konstrukcije pogona on se može simulirati na računalu i ispitati učinkovitost raznih konfiguracija (slika 9b). Slika 11 prikazuje još jednu simulaciju robotičkog sustava razvijenu na FER-u u Zagrebu.



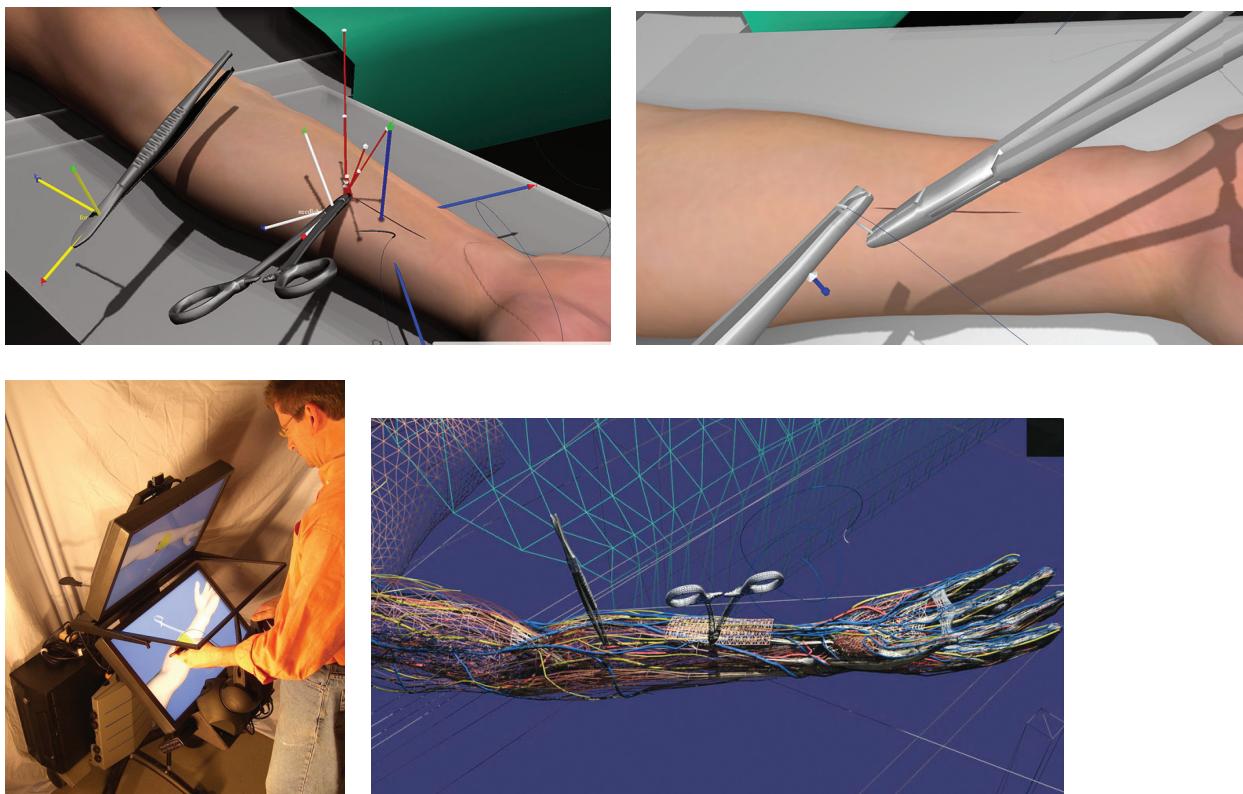
Slika 7: Primjeri vojnih simulacija za obuku: ThoroughTec simulator vojnog vozila i Alenia Aeronautica simulator zrakoplova Eurofighter Typhoon



Slika 8: Primjeri primjene u psihijatriji (Virtual Reality Medical Center). Gornji red: liječenje straha od letenja. Donji red: liječenje straha od visine i od javnih nastupa.



Slika 9: Primjer: a) ispitivanja funkcionalnosti proizvoda (Fraunhofer Institute for Computer Graphics),
b) simulacije proizvodnog pogona (Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation)



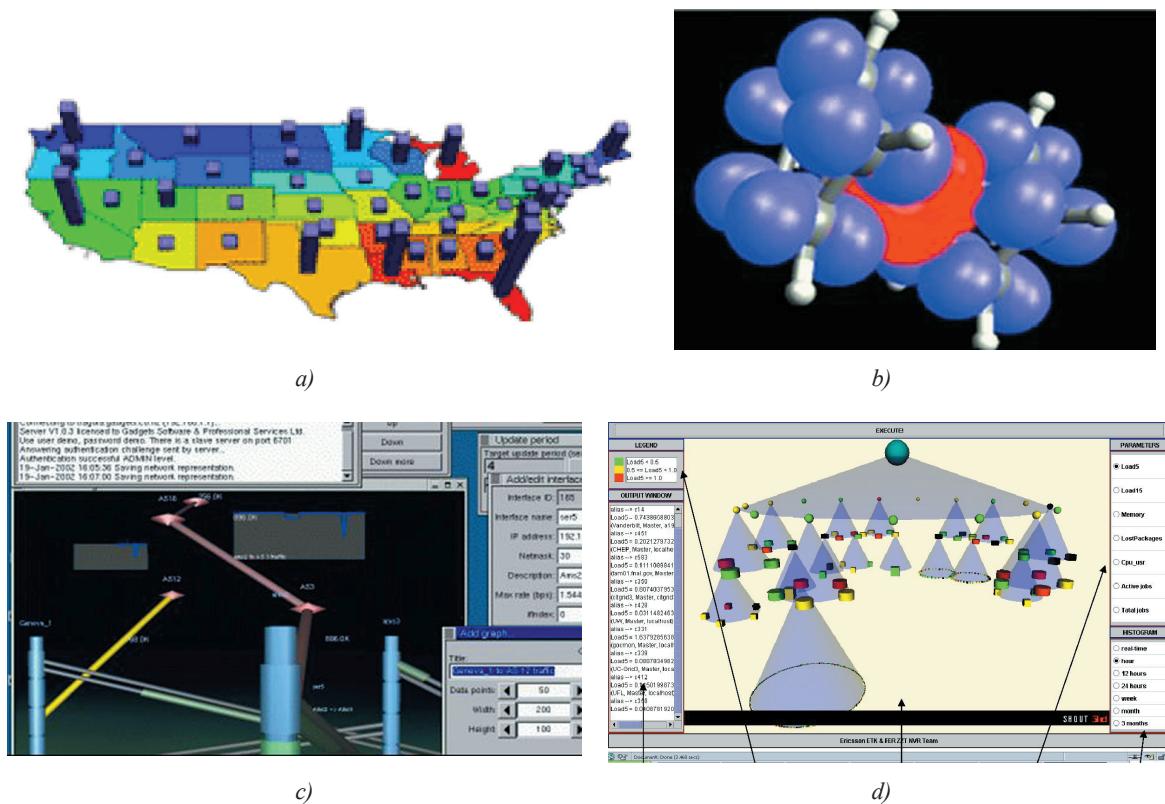
Slika 10: Primjeri virtualnih operacija za obuku u kirurgiji (SimQuest)



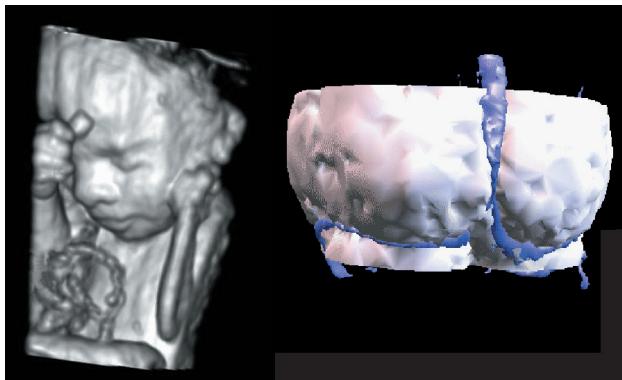
Slika 11: Robotički sustav i simulacija istog sustava (FER)

1.3.5 Vizualizacija

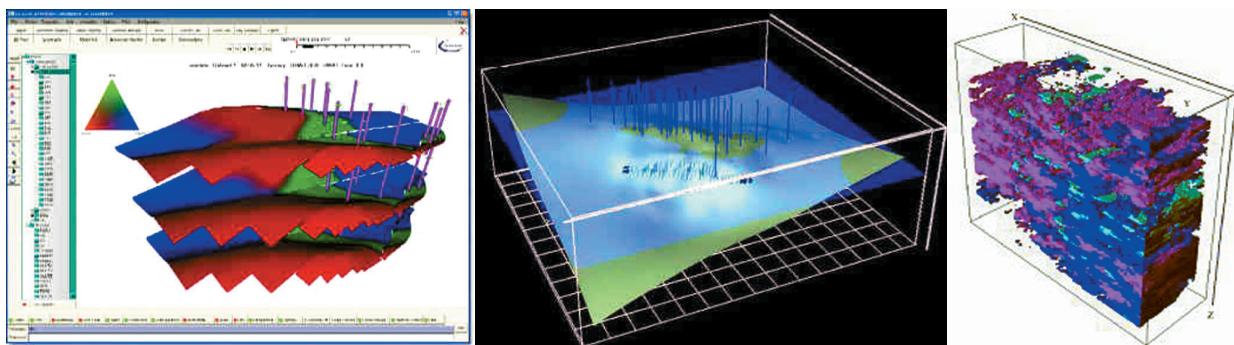
Vizualizacija se koristi za predočavanje najrazličitijih podataka, npr. statistike (slika 12a), rezultata mjerenja, podataka o računalnoj mreži (slika 12c). Pritom vizualizacija pomaže lakšem poimanju podataka te često omogućava pronalaženje činjenica i zakonitosti koje bi bilo nemoguće uočiti pregledom podataka u numeričkom ili tekstualnom obliku [4]. U medicini se koristi 3D vizualizacija rezultata ultrazvuka, magnetske rezonancije (eng. *Magnetic Resonance Imaging*, skr. MRI) i računalne tomografije (eng. *Computed Tomography*, skr. CT) (slika 13), što je korisno za dijagnostiku i planiranje operacija. U kemiji i biologiji koristi se molekularna vizualizacija (slika 12b). Geografska vizualizacija ima široke primjene, od geologije i istraživanja nafte (slika 14) do planiranja cesta i ostale infrastrukture.



Slika 12: Primjer: a) vizualizacije statističkih podataka, b) molekularne vizualizacije, c) vizualizacije mrežne strukture i d) vizualizacija rada skupina računala uključenih u GRID (FER – Ericsson Nikola Tesla)



Slika 13: Primjeri 3D vizualizacije rezultata ultrazvuka, odnosno magnetske rezonancije



Slika 14: Primjeri vizualizacije geoloških podataka

1.3.6 Predstave, događaji i marketing

Virtualna okruženja često su atraktivan dio raznih događanja, od kazališnih predstava, modnih pista (slika 15a), plesnih točaka (slika 15b, slika 15c), izložbi do marketinški orijentiranih događaja, privrednih sajmova i sl. U području marketinga atraktivne interaktivne vizualizacije uz dobro osmišljen scenarij pružaju vrlo široke mogućnosti promocije (slika 16).

1.3.7 Ostalo

Napokon, postoje najrazličitije primjene virtualnih okruženja koje se mogu smjestiti jedino u klasu "ostalo", a kreću se od grafičkih dodataka za reproduciranje zvuka koji automatski proizvode zanimljive grafičke efekte uz glazbu, do čuvara zaslona (*screen saver*), pa do specijalnih primjena kao što je, na primjer, simulacija konjskih utrka.

1.4 Pregled sadržaja

U najvećem dijelu ove knjige bavit će se problemima izravno ili neizravno vezanima za virtualnu scenu. Poglavlje 2 bavi se modeliranjem, tj. objašnjava kako se svi dijelovi virtualne scene prikazuju u memoriji računala.

Poglavlje 3 objašnjava geometrijske transformacije, koje predstavljaju osnovu za sve metode u računalnoj grafici.

Poglavlje 4 pruža uvid u osnovne metode iscrtavanja virtualne scene u stvarnom vremenu i sklopovlje koje se za to koristi.

Poglavlje 5 objašnjava implementaciju procesa iscrtavanja na modernim grafičkim procesorima i daje osnove za njihovo programiranje.

Poglavlje 6 pokazuje kako se virtualna scena može logički organizirati u graf scene, čime se omogućuje daleko učinkovitiji rad sa scenom.

U poglavlju 4 obrađeno je tek najosnovnije iscrtavanje. Više o iscrtavanju objašnjeno je u poglavlju 7, koje se bavi specijalnim efektima iscrtavanja, te u poglavlju 8, u kojem je riječ o ubrzavanju iscrtavanja.

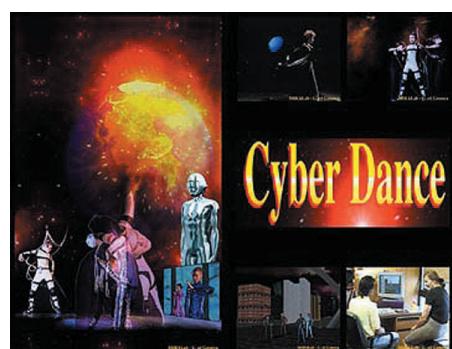
Virtualna scena zanimljivija je ako je dinamična. Stoga se poglavlje 13 bavi interakcijom u virtualnoj sceni, dakle pomicanjem elemenata scene pomoću ulaznih jedinica. Pritom su često potrebne detekcije presjeka i sudara, obrađene u poglavlju 9.

Sljedeće poglavlje, poglavlje 10, postavlja virtualnu scenu u umreženu, distribuiranu okolinu. Obrađuju se umrežena virtualna okruženja, kod kojih se više korisnika može putem mreže sastati u zajedničkom virtualnom okruženju.

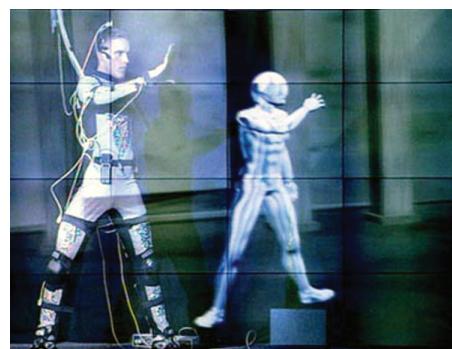
Poglavlja 11 i 12 obrađuju virtualnu i proširenu stvarnost. Virtualna stvarnost je skup tehnologija koje nastoje korisnika "uroniti" u virtualnu scenu korištenjem raznih tehničkih pomagala, pri čemu korisnik ima osjećaj da se nalazi u virtualnom svijetu. Nasuprot tome, kod proširene stvarnosti korisnik vidi stvarni svijet oko sebe, no on je opremljen dodatnim virtualnim elementima koji se pojavljuju na odgovarajućim mjestima unutar korisnikovog vidokruga.



a)



b)



c)

Slika 15: Primjer: a) modne revije, b) plesne točke, c) detalj plesne točke (MIRALab, Sveučilište u Ženevi)