

Računarska grafika

Uvod



Interaktivna računarska grafika

- Računarska grafika je disciplina koja se u osnovi bavi:
 - sintezom slike na računaru



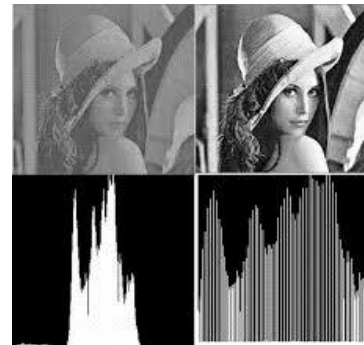
- interakcijom sa korisnikom (otuda naziv "interaktivna")



- Računarska grafika omogućava izuzetno prirodan način komunikacije sa računarom

Komplementarne discipline

- Obrada slike (*image processing*)
 - bavi se analizom slike

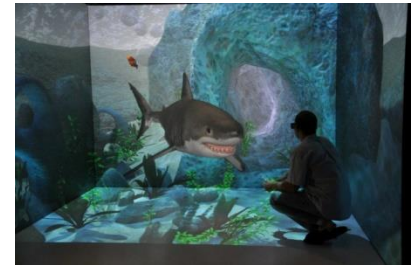


- Računarski vid (*computer vision*)
 - bavi se sintezom 3D modela od 2D slika



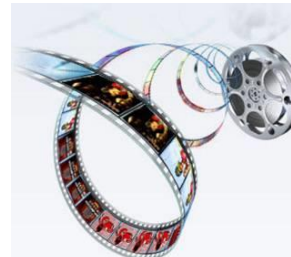
Spregnute discipline

- RG intenzivno koristi rezultate disciplina:
 - računaska geometrija (*computational geometry*)
 - simulacija zasnovana na fizici (*physically based simulation*)
- Discipline koje intenzivno koriste rezultate RG:
 - virtuelna stvarnost (*virtual reality*)
 - obogaćena stvarnost (*augmented reality*)
 - video igre (*video games*)



Slika

- Sposobnost čoveka da prepozna 2D i 3D oblik i boju dopušta efikasno prihvatanje slikovnih podataka
- Poslovice (slogan): "jedna slika vredi hiljade reči"
- Poslovice je postala kliše u društvu nakon pojave jeftinih tehnologija za proizvodnju slike:
 - najpre štampe, zatim fotografije, pa filma i televizije

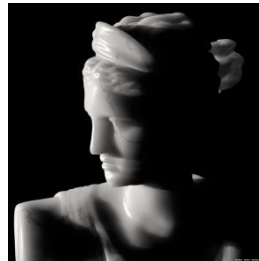


- Računarska grafika je danas uz fotografiju i televiziju treći dominantan način proizvodnje slika



Sintetizovana slika

- Slika je po prirodi (uređaja) dvodimenzionalna, ali trodimenzionalne scene mogu efektno da se predstavljaju u 2D
- Sintetizovana slika može da prikazuje
 - verodostojnu stvarnost
 - uprošćenu stvarnost
 - obogaćenu stvarnost
 - fiktivnu stvarnost
 - apstrakciju

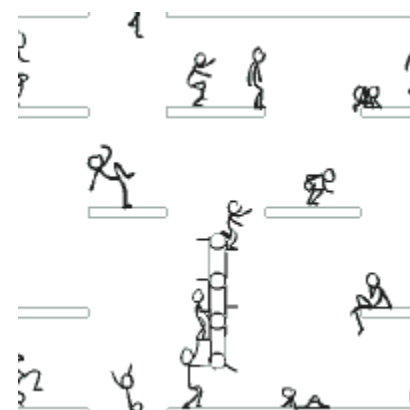


Animacija



- Statičke slike su dobre za razmenu informacija, dinamičke su još bolje
- Varijacija na poslovicu:
 - pokretna slika je vredna hiljade statičkih slika
- Efektno za vremenski promenljive fenomene koji mogu da budu:
 - realni, kao što su:
 - savijanje krila aviona pri nadzvučnim brzinama leta
 - promena ljudskog lica od detinjstva do starosti
 - apstraktni, kao što su:
 - trend rasta nuklearne energije u nekoj zemlji ili cene akcija na berzi
 - model hemijske reakcije sa razgradnjom i/ili obrazovanjem složenih molekula

Animacija - primeri

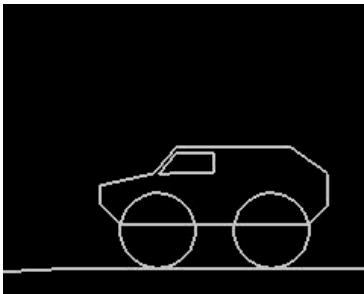


Dinamika

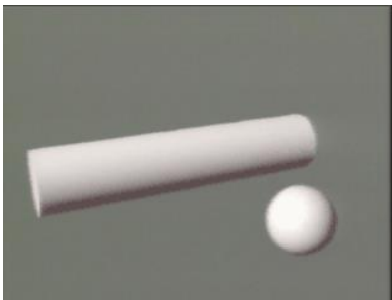
- Dinamika kretanja i dinamika ažuriranja (promene oblika)
- Vrste dinamike u animaciji:
 - dinamika kretanja – promena pozicije i orijentacije
 - dinamika elastičnih sudara
 - dinamika elastične ili plastične promene oblika čvrstog tela (*rigid body*)
 - dinamika oscilacija
 - dinamika mekih tela (*soft body*), npr. tkanine
 - dinamika fluida (tečnosti, gasova)
 - dinamika čestica (dim, vatra, vatromet, ...)
 - dinamika živih bića (ljudi, životinja, ili delova tela: lica, skeleta, ...)
 - ...
- Realistični prikaz dinamike koristi zakone fizike

Dinamika - primeri

- Elastična deformacija



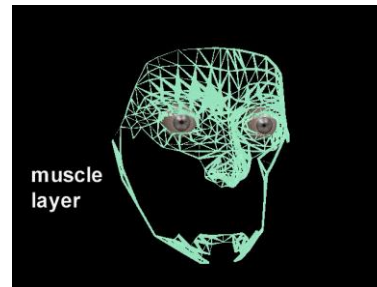
- Tkanina



- Skelet



- Lice



Dinamika kretanja

- Konvencije:
 - posmatrač (virtuelna kamera) nepomičan, a objekti se pomeraju u odnosu na njega
 - objekti nepomični, a posmatrač se kreće (pokretna virtuelna kamera)
- Konvencije mogu da se kombinuju - kreću se i objekti i posmatrač
- Kretanje posmatrača
 - rotacija oko sopstvenih osa (*roll, tilt, yaw* kamere)
 - translacija u ravni paralelnoj projekcionoj ravni (*pan* kamere)
 - primicanje i odmicanje (efekat sličan *zoom in/out* kamere)
 - proizvoljno u prostoru, uz kombinovanje prethodnih

Interakcija

- Računarska grafika se bavi i interakcijom sa korisnikom
- Korisnik saopštava zahtev preko ulaznih uređaja kao što su:
 - tastatura (sve ređe)
 - miš, grafički tablet, palica, dodirni panel/ekran
 - senzori pokreta (*MS Kinect*), senzori orijentacije (HMD),...
- Tehnologija interaktivne grafike obuhvata hardver i softver za korisničku kontrolu dinamike
- Interakcijom može da se utiče na:
 - dinamiku kretanja posmatrača (kamere)
 - dinamiku kretanja i ažuriranja objekata u sceni
 - vizuelizaciju scene (osvetljenje, nivo detalja, ...)



Interakcija, dinamika i animacija

- Korišćenje dinamike je naročito efektno kada korisnik može interaktivno da kontroliše animaciju:
 - pozicioniranjem i orijentisanjem virtuelne kamere
 - promenom brzine (pravac, smer, intenzitet) kretanja kamere
 - upravljanjem objektima u sceni
 - definisanjem dela ukupne scene koji se prikazuje (*zoom* i *pan*)
 - osvetljenjem scene
 - određivanjem granularnosti scene (broja prikazanih detalja)

Snaga interaktivne grafike

- Interaktivna grafika značajno proširuje mogućnosti korisnika da:
 - razume podatke i procese
 - prati trendove
 - vizuelizuje realne ili imaginarne objekte
 - kreira virtuelne svetove i istražuje ih iz proizvoljne tačke gledanja
 - postigne veću produktivnost i nižu cenu analize i projektovanja
 - postigne bolji kvalitet i preciznost krajnjih proizvoda
 - ima veće zadovoljstvo pri korišćenju računara

Obrada slike

- Računarska grafika se bavi sintezom slika realnih ili imaginarnih objekata iz njihovih modela
- Obrada slike se bavi analizom slika objekata, a računarski vid rekonstrukcijom modela objekata iz njihovih slika
- Primene analize slike:
 - analiza fotografija snimljenih nadgledanjem iz vazduha
 - analiza slika nebeskih tela dobijenih sa vasionских sondi
 - analiza slika dobijenih iz "oka" industrijskog robota
 - analiza mikroskopskih snimaka hromozoma
 - analiza medicinskih slika (rentgen, CT, ultrazvuk, NMR)
 - analiza slika u biometriji (dužica oka, otisak prsta, lice)
 - optičko čitanje i prepoznavanje znakova (OCR),
 - optičko čitanje markera (OMR)

Podoblasti obrade slike

- Poboljšanje slike (*image enhancement*)
 - kvalitet slike se popravlja tehnikama:
 - uklanjanje šuma (uklanjanje/izmena pogrešnih i dodavanje nedostajućih piksela)
 - povećanje kontrasta
- Otkrivanje i prepoznavanje uzoraka (*pattern detection and recognition*)
 - otkrivanje oblika (karakteristične tačke, segmentacija)
 - poređenje otkrivenih oblika sa standardnim uzorcima procenom odstupanja
 - primer: optičko prepoznavanje karaktera (OCR)
 - omogućava unos štampanih ili kucanih stranica ili čak rukom pisanih znakova uz konverziju u tekstualne podatke
- Analiza scene i računarski vid (*scene analysis and computer vision*)
 - dopušta prepoznavanje i rekonstrukciju 3D modela scene iz nekoliko 2D slika
 - primer: industrijski robot
 - razlikuje veličine, oblike, pozicije i boje delova na pokretnoj traci

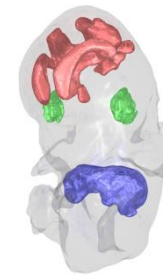
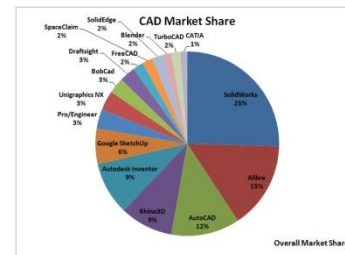
Veze između RG i obrade slike

- Računarska grafika i obrada slike su komplementarne discipline
- U obe discipline se dominantno koriste rasterski prikazivači
- Postoji određena simbioza između disciplina:
 - u aplikacijama za interaktivnu obradu slike
 - korisnički ulaz preko (grafičkih) komponenti GUI-ja i ulaznih uređaja
 - primeri: meniji, dugmad, liste, radio-dugmad,...
 - grafički alati, npr. crtanje pravougaonika ili mnogougla da se označi oblast
 - u računarskoj grafici
 - koriste se neki algoritmi obrade slike
 - primer: popunjavanje oblasti ispitivanjem susedstva piksela
- Primer:
 - skenirane fotografije se elektronski "retuširaju", isecaju i kombinuju

Primena RG u delatnostima

- RG se primenjuje u mnogim oblastima ljudske delatnosti:

- industrija
- poslovanje
- zdravstvo
- nauka
- obrazovanje
- zabava
- ...



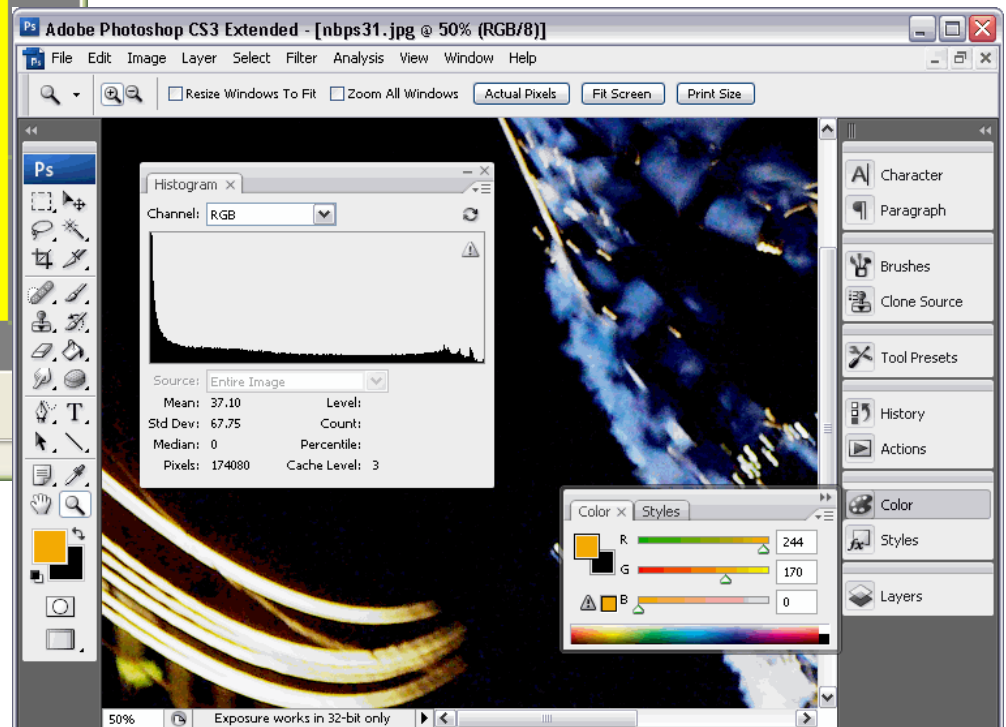
Namene RG

- Veliki broj namena RG:
 - korisnički interfejs aplikacija
 - grafički prikaz podataka
 - elektronsko izdavaštvo
 - projektovanje (CAD,CAM,...)
 - simulacija i animacija
 - prezentacija
 - kontrola procesa
 - kartografija
 - ...

Korisnički interfejsi

- Verovatno najrasprostranjenija primena interaktivne grafike
 - moderne aplikacije imaju grafičke korisničke interfejse
- Grafički korisnički interfejsi se zasnivaju na prozorskom sistemu
- Osnovne ulazno/izlazne metafore prozorski-orientisanih aplikacija:
 - "pogled u računar" (izlaz)
 - "ukaži i klikni" (ulaz)
- Prozorski sistem upravlja simultanim aktivnostima ulaza i izlaza
 - sadržaj prozora se iscrtava u grafičkom režimu rada
 - prozor predstavlja virtuelni ekran
 - ukaži-i-klikni tehnikom se vrši izbor objekta, npr. stavke iz menija
 - primenjuje se ulazni pokazivački uređaj (npr. miš, palica, dodirni ekran, ...)
 - ulaz preko tastature se značajno redukuje
 - svodi se samo na unos teksta koji predstavlja podatak, a ne komandu

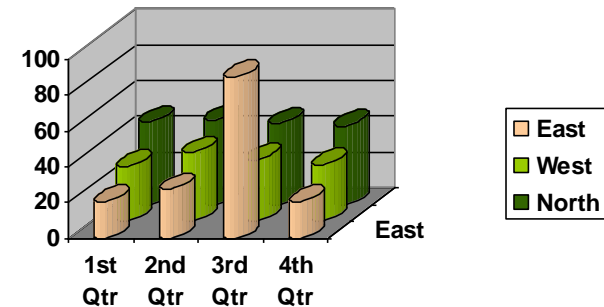
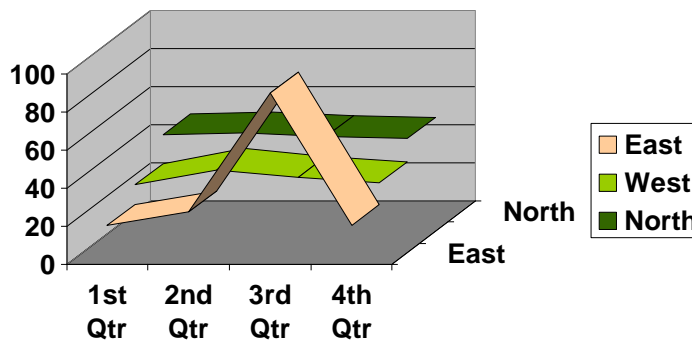
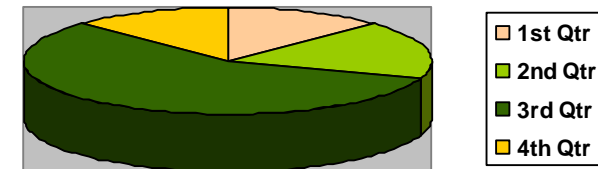
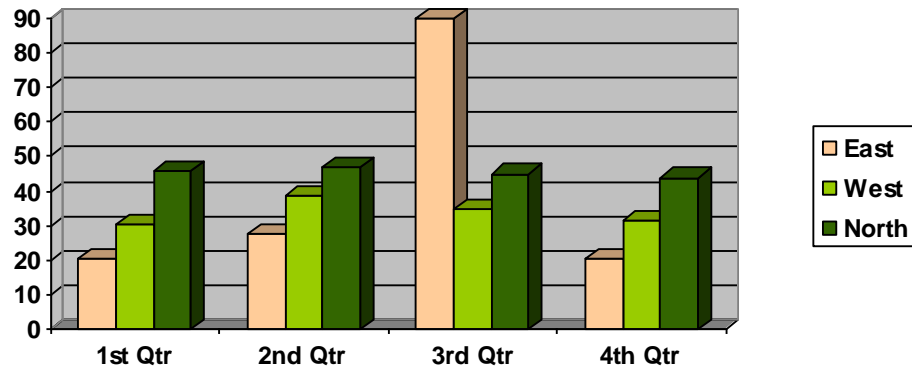
Korisnički interfejsi - primeri



Grafički prikaz (crtanje) podataka

- U mnogim oblastima: poslovanju, nauci, tehnologiji,...
- Koncizno prikazivanje stanja i trendova iz sakupljenih ili izračunatih podataka
- Svrha:
 - da se pojasne kompleksne pojave
 - da se olakša informisano odlučivanje
- Primeri:
 - 2D i 3D grafikoni matematičkih funkcija (krive i površi)
 - histogrami (*bar* i *pie* grafikoni)
 - dijagrami rasporeda poslova (gantogrami) i slični

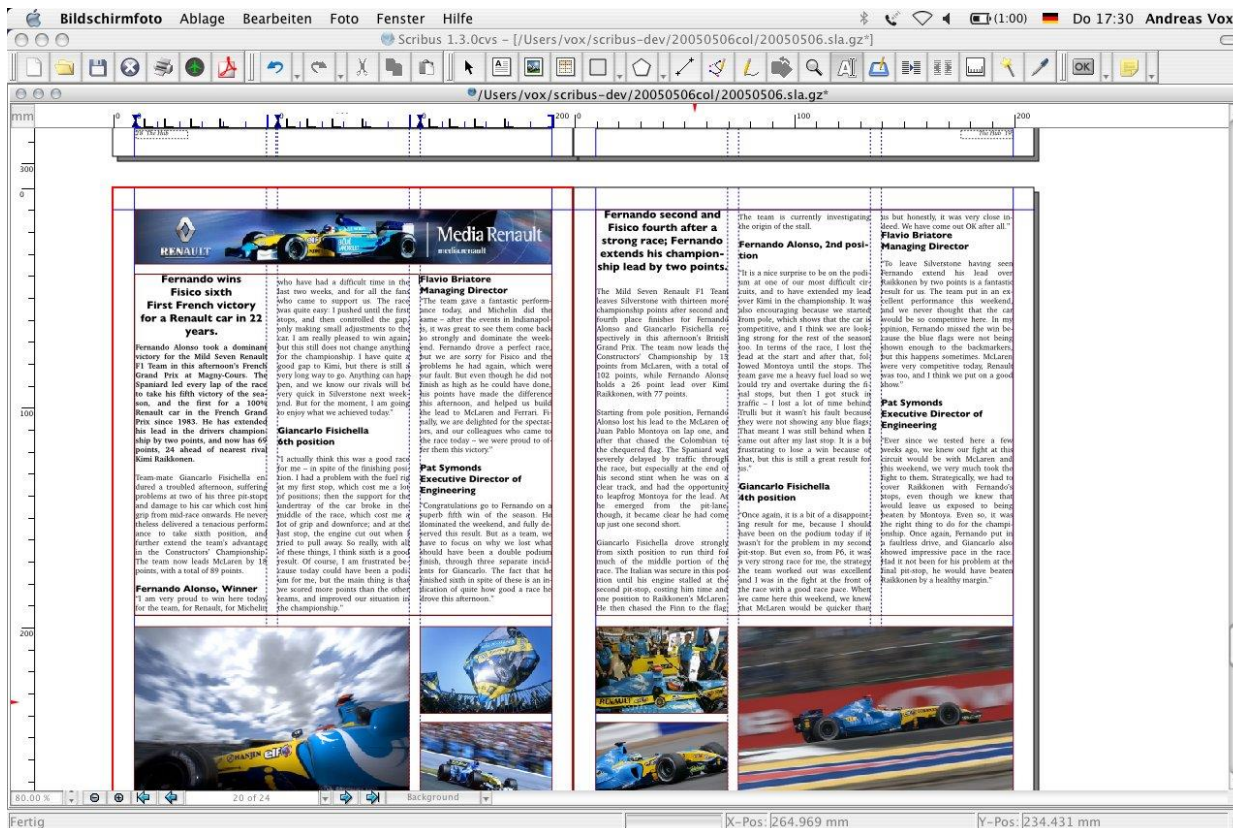
Grafički prikaz podataka - primeri



Elektronsko izdavaštvo

- Pojava elektronskog (stonog) izdavaštva na PC-u
 - ključno je korišćenje grafike radi kreiranja i širenja informacija
- Organizacije mogu da proizvedu štampane materijale "u kući"
- Dokumenti mogu da sadrže:
 - tekst, tabele, slike (fotografije i sintetizovane), grafike, dijagrame,...
- Konvencionalne mogućnosti rada sa dokumentima:
 - priprema, čuvanje i prikazivanje u elektronskoj formi (*softcopy*) i
 - štampanje (*hardcopy*)
- Novije mogućnosti:
 - hipertekst – mreže međusobno povezanih multimedijalnih dokumenata
 - sistemi za upravljanje sadržajima (CMS) – veb-portali, e-enciklopedije

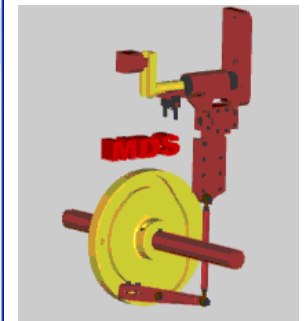
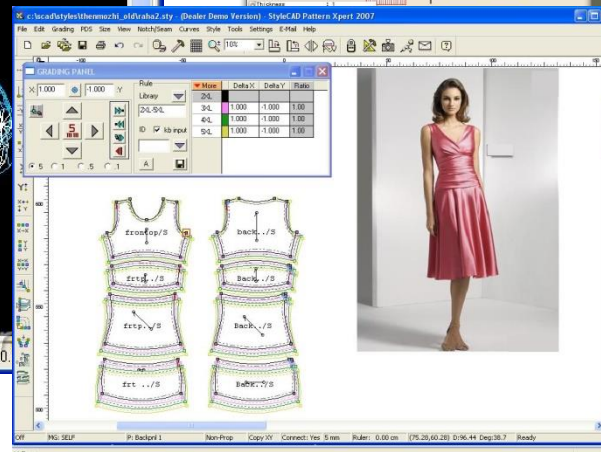
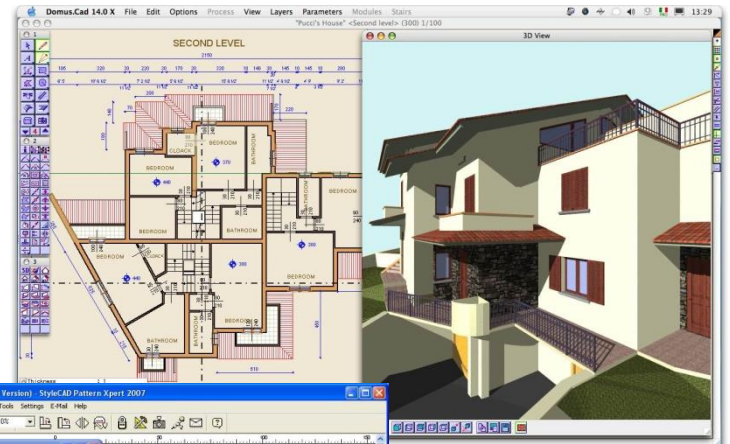
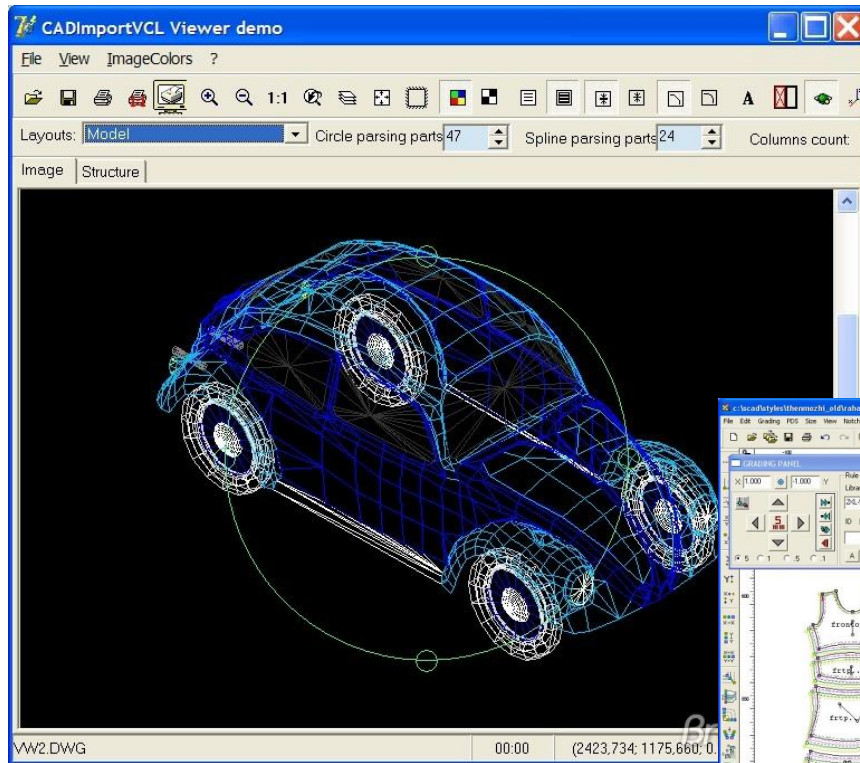
Elektronsko izdavaštvo - primer



Projektovanje (CAD, CAM, CASE)

- Projektovanje komponenata i sistema:
 - građevinskih, mehaničkih, električnih, elektronskih, softverskih,...
 - primeri: zgrade, školjke automobila, trupovi aviona i brodova, VLSI čipovi, optički sistemi, telefonske i računarske mreže, softver
- Ciljevi:
 - kreiranje crteža komponenata i montaže (tehnički crteži i šeme)
 - interakcija sa modelom komponente ili sistema koji se projektuje
 - ispituju se njegove strukturne, električne, termalne i druge osobine
 - model može da se interpretira pomoću simulatora
 - dobija se povratna informacija o ponašanju sistema
 - rezultat simulacije se koristi u narednim ciklusima projektovanja
 - postprocesiranje baze projektnih podataka
 - liste delova, računi za materijal, kontrolne trake za sečenje i bušenje

Projektovanje - primeri



Simulacija i animacija

- Primena u animiranoj vizuelizaciji
 - u poslovnom, naučnom, inženjerskom, obrazovnom i drugim domenima
 - prikazi vremenski-promenljivog ponašanja simuliranih procesa i objekata
 - primeri: protok fluida, nuklearne i hemijske reakcije, fiziološki sistem i funkcija organa, mehaničke strukture pod različitim opterećenjima
- Primena u filmskoj industriji
 - kreiranje crtanih filmova
 - *in-between* tehnika interpolacije između zadatih "ključnih slika"
- Primena u industriji igara
 - animacija koja uključuje dinamiku kretanja i dinamiku ažuriranja
 - korisnici interaguju sa modelom realnog ili veštačkog sveta
- Primena u trenažerima
 - simulatori vožnje automobila i drugih vozila
 - simulatori leta

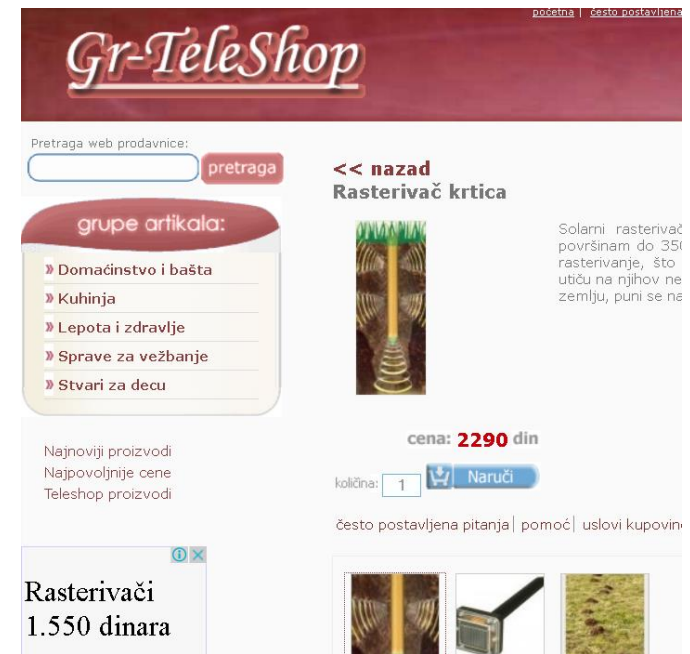
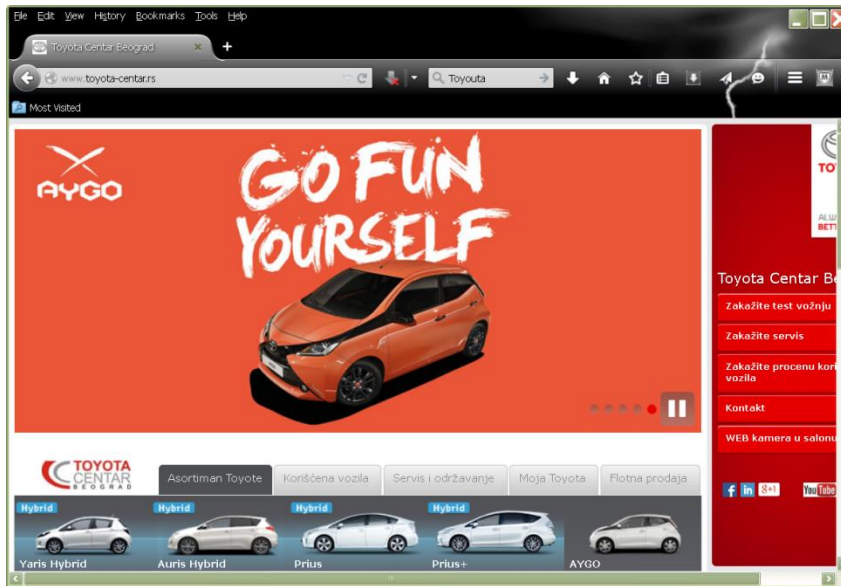
Simulacija i animacija - primer



Prezentacija

- U marketingu, nauci, obrazovanju, umetnosti i drugim granama
- Računarska grafika se koristi da proizvede slike koje izražavaju poruku i privlače pažnju
- Značajna je kreativna (umetnička) komponenta u dizajnu
- Primene:
 - personalni računari, specijalizovani terminali ili bilbordi na javnim mestima prikazuju informativne slike
 - aplikacije za prodaju omogućavaju korisnicima da se sami orijentišu, prave izbor, kupuju na daljinu (*teleshop*)
 - slajdovi za prezentacije: komercijalne, naučne ili obrazovne
- RG značajno smanjuje troškove rada na kreiranju materijala u odnosu na tradicionalne načine

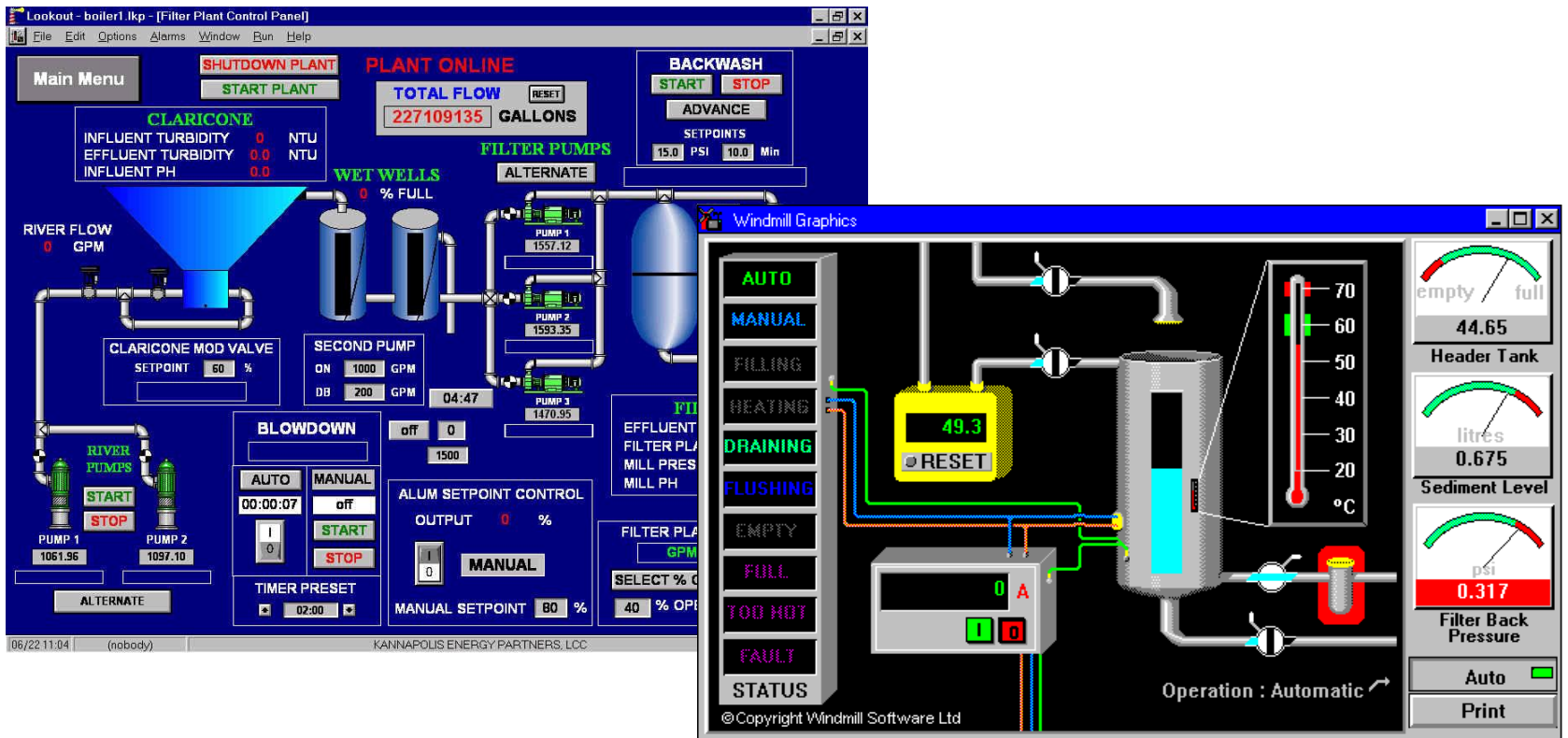
Prezentacija - primeri



Kontrola procesa

- Aplikacije dopuštaju korisnicima da interaguju sa nekim aspektima samog realnog sveta
 - pri tome su udaljeni od ciljnog procesa, čime se postiže bezbednost
- Prikazivači statusa pokazuju vrednosti podataka sa senzora priključenih na kritične systemske komponente
 - u rafinerijama, energetske postrojenjima, računarskim mrežama i drugim sistemima u kojima se odvijaju neki procesi
- Interaktivna grafika omogućava operateru da:
 - jednostavno uoči problematične uslove
 - pravovremeno odgovori na uočene uslove

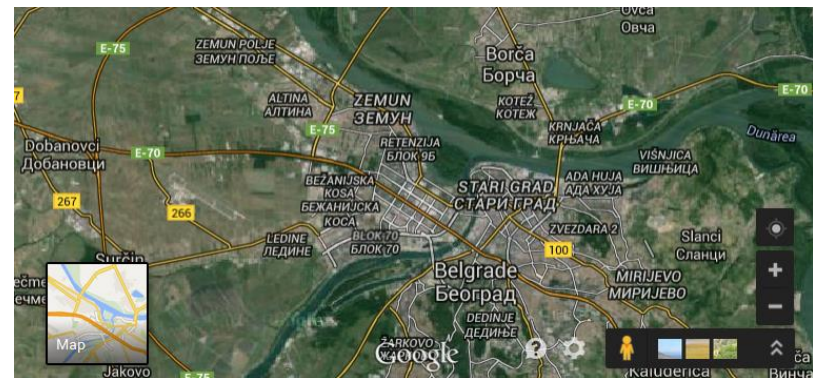
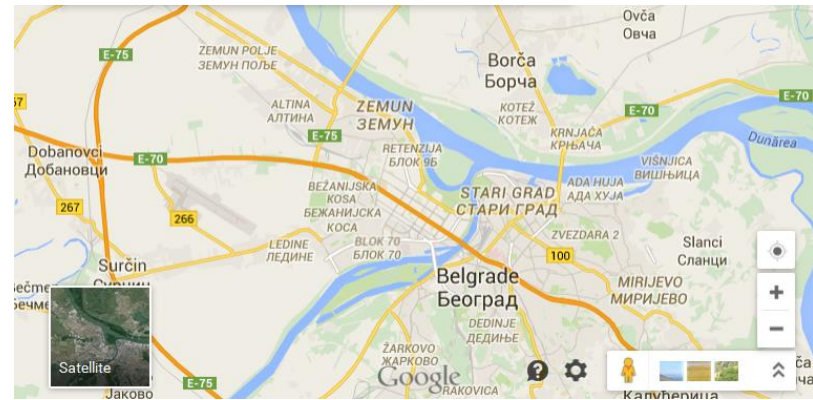
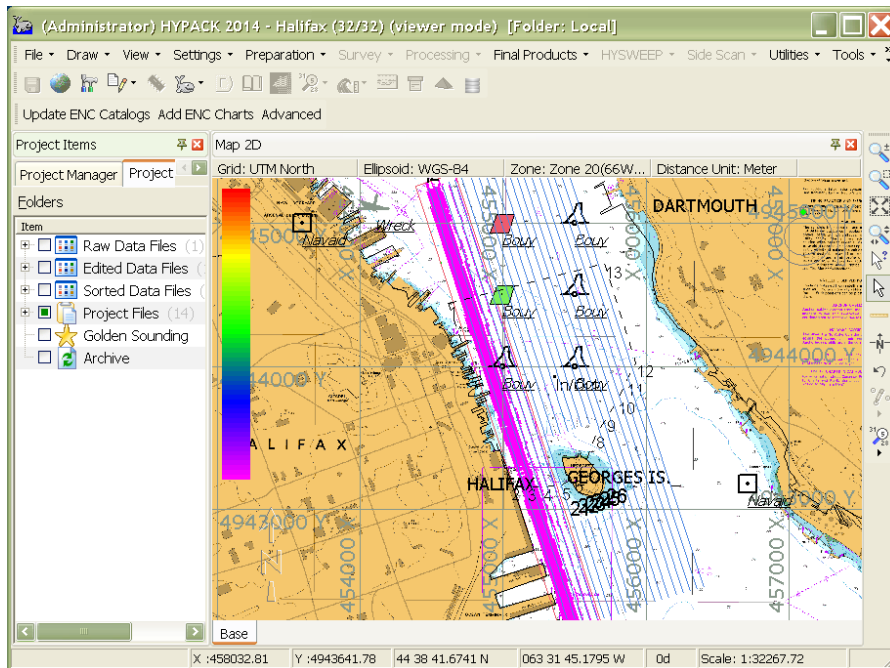
Kontrola proces - primeri



Kartografija

- Računarska grafika se koristi da proizvede šematsku reprezentaciju geografskih pojava
- Geografske i druge mape se kreiraju na osnovu izmerenih ili izračunatih podataka
- Primeri:
 - geografske mape reljefa
 - mape nalazišta za bušotine i rudnike
 - okeanografske i druge hidrografske karte
 - metereološke mape
 - demografske mape gustine stanovništva

Kartografija - primeri



Klasifikacija grafičkih aplikacija

- Veći broj kriterijuma
 - opis (model) slike (prisustvo geometrije)
 - broj dimenzija
 - promenljivost modela
 - učešće boje i realizam
 - tip interakcije
 - stepen u kojem slika predstavlja finalni proizvod
 - ...

1. kriterijum: opis (model) slike

- *Vektorska grafika:*
 - slika se opisuje karakterističnim tačkama objekata u sceni koja se prikazuje
 - osnovna karakteristika:
 - postoji geometrijski model objekata koji se prikazuju
 - primeri:
 - 3D objekat u prostoru se opisuje poliedrom čija sva temena predstavljaju karakteristične tačke opisane koordinatama u datom koordinatnom sistemu
 - jedan znak nekog fonta može da bude opisan poligonom ili skupom poligona u ravni
- *Rasterska grafika:*
 - slika se opisuje ćelijama (pikselima) mreže (rastera) koja pokriva sliku
 - osnovna karakteristika:
 - ne postoji geometrijski model objekata, slika je samo u memoriji
 - primeri:
 - fotografija snimljena digitalnom kamerom ili uneta skenerom opisuje se matricom piksela
 - slikanje na računaru proizvodi sliku koja se opisuje matricom piksela (piksel-mapom)

2. kriterijum: broj dimenzija slike

- **2D:**
 - crteži ili slike sastavljeni od linija i geometrijskih figura koje leže u istoj ravni
 - primeri: 2D grafikoni, dijagrami, šeme
- **2.5D:**
 - postoji ideja 3D prostora ali je u osnovi 2D slika (više interpretacija)
 - linije i geometrijske figure leže i više paralelnih ravni – slojevi slike
 - slike u različitim slojevima se međusobno (delimično) zaklanjaju (štampana kola)
 - objekti prostorne scene se prikazuju u jednoj od ortografskih projekcija:
 - odozgo, spreda i/ili bočno
 - kod pogleda odozgo, treća dimenzija se nekad kodira bojom (kartografija)
- **3D:**
 - scena sa više tela u prostoru, projekcija sa perspektivom
- **4D: (uslovno)**
 - pokretna slika (animacija) se ponekad naziva 4D grafikom
 - animacija može da bude u 2D ili 3D prostoru

3. kriterijum: promenljivost modela

- *Prikazivači (viewer):*
 - aplikacija služi samo za prikazivanje
 - modela na osnovu kojeg se stvara slika
 - gotove slike
- *Editori:*
 - aplikacijom se kreira ili menja
 - model kojim se opisuje slika
 - sama slika

4. kriterijum: boja i realizam

<i>Dimenzionalnost</i>	<i>Vrsta slike prema učešću boje i realizmu</i>
2D ili 3D	Monohromatska – 2D crtež, 3D žični model
	Skala sivog
	Boja
	Tekstura
	Transparentnost
3D	Svetlo i senčenje
	Svojstva materijala
	Svojstva sredine (atmosfera, vode)

5. kriterijum: tip interakcije

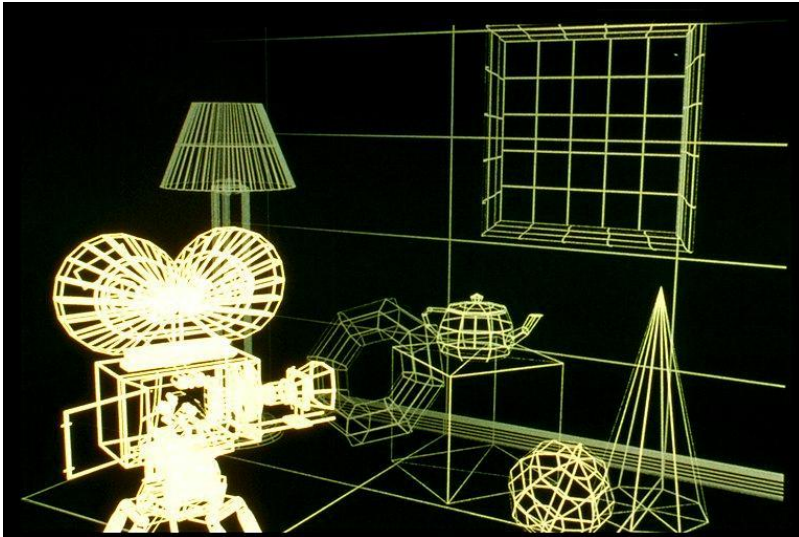
- Pasivno (*offline*) crtanje (nema interakcije)
 - na osnovu unapred definisanog modela
 - proizvedenog pomoću drugih aplikacija
 - digitalizovanog iz fizičkog modela
- Crtanje zadavanjem komandi (sinhrona interakcija - “ping-pong”)
 - korisnik daje neke parametre crteža, pa računar crta
 - korisnik vidi crtež, menja parametre, pa računar ponovo crta
- Kretanje kamere u realnom vremenu (asinhrona interakcija sa kamerom)
 - korisnik upravlja kretanjem kamere u sceni
 - scena je već definisana, a kretanje je kontrolisano u realnom vremenu
 - primena za naučnu vizuelizaciju i simulatore (npr. letenja)
- Interaktivno projektovanje (potpuna interakcija sa objektima i kamerom)
 - korisnik počinje od praznog ekrana
 - zatim kreira nove objekte (tipično iz unapred definisanih komponenata)
 - eventualno ažurira, pozicionira i orijentiše objekte, definiše im zakone kretanja
 - konačno se kreće po sceni da postigne željeni pogled

6. kriterijum: stepen proizvoda

- Kriterijum predstavlja stepen u kojem slika predstavlja
 - finalni proizvod ili
 - put da se do njega stigne
- Podela:
 - *finalni proizvod* (osnovni cilj aplikacije je da proizvede sliku)
 - u kartografiji, tehničkom crtanju, rasterskom slikanju, animaciji
 - *faza u kreiranju proizvoda*
 - u mnogim CAD/CAM/CASE alatima
 - *samo vizuelizacija*
 - crtež je samo reprezentacija objekta koji se analizira ili projektuje

Stepen realizma (1)

- Žični monohromatski model
 - crtaju se samo ivice objekata jednom bojom
 - ivice povezuju temena modela



Stepen realizma (2)

- Žični obojeni model objekata
 - sa uklonjenim nevidljivim ivicama



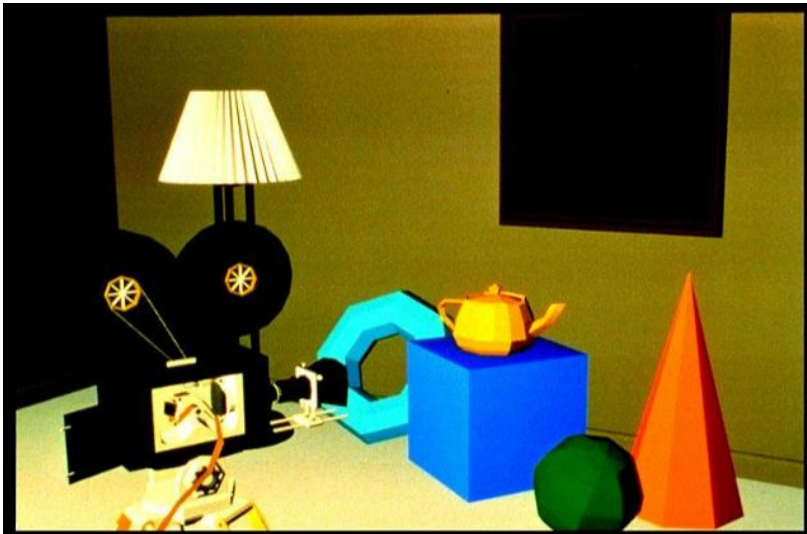
Stepen realizma (3)

- Obojeni neprozirni objekti
 - stranice objekata (poligoni) se boje bez senčenja
 - samo ambijentalno svetlo



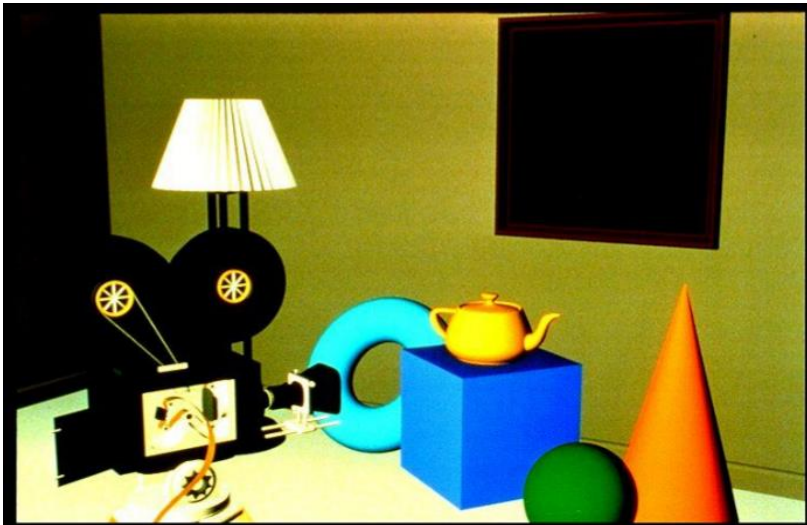
Stepen realizma (4)

- Monolitno (*flat*) senčenje stranica objekata
 - tačkasti izvor svetla, svetlo se računa za ceo poligon
 - svi pikseli poligona imaju istu nijansu



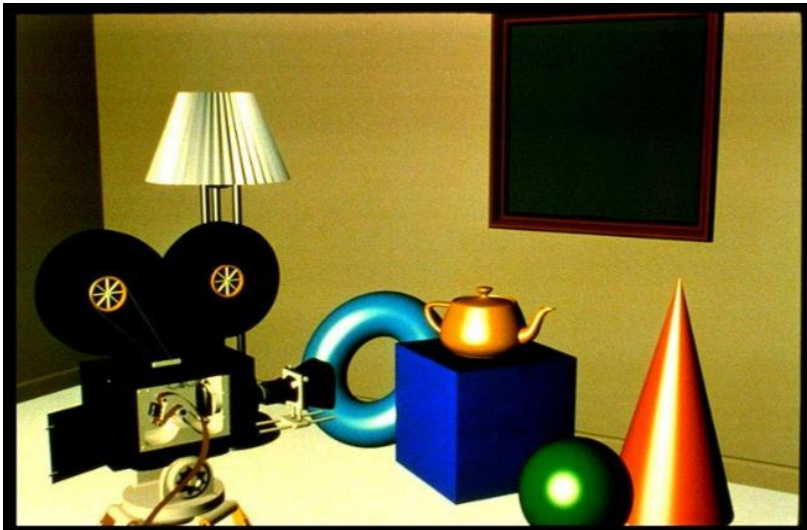
Stepen realizma (5)

- Interpolirano (*Gouraud*) senčenje stranica
 - svetlo se računa za svako teme
 - nijansa piksela se dobija interpolacijom



Stepen realizma (6)

- Odsjaj izvora svetla (model osvetljenja *Phong*)
 - spekularna komponenta osvetljaja
 - svetlosni izvor se „ogleda“ na objektu



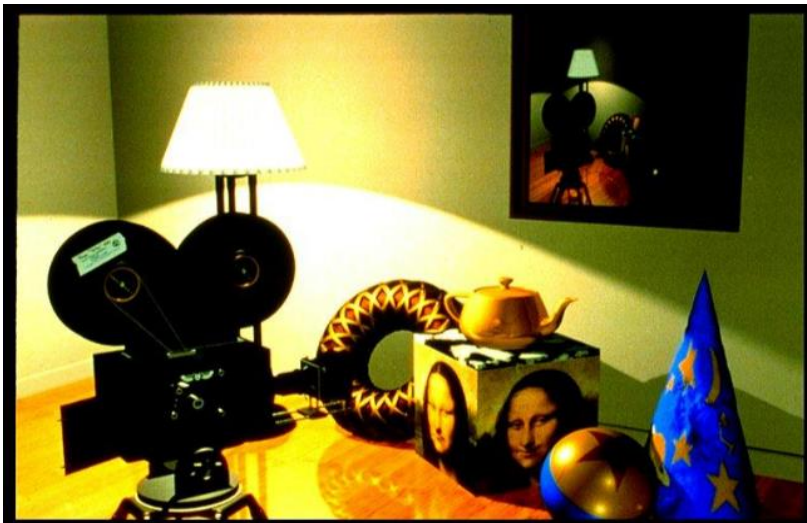
Stepen realizma (7)

- Stranice objekata sa teksturom
 - poligoni stranica se preslikavaju u prostor teksture
 - na teksturu može da se primeni mozaički efekat



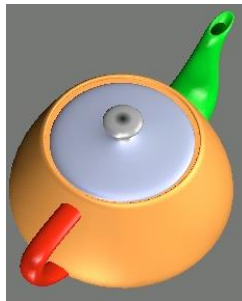
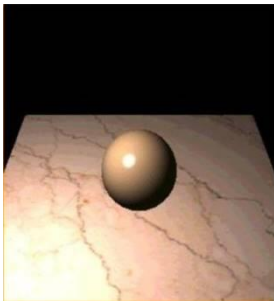
Stepen realizma (8)

- Globalno osvetljenje sa dodatnim efektima
 - senke, ogledanja, reljef



Osvetljenje

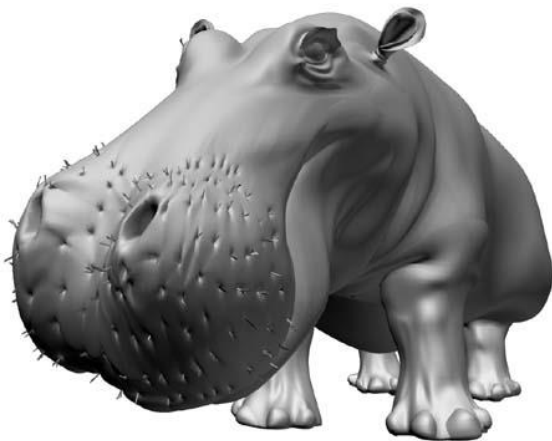
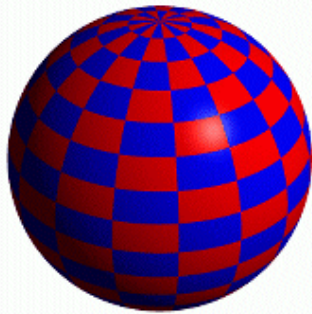
- Lokalno



- Globalno

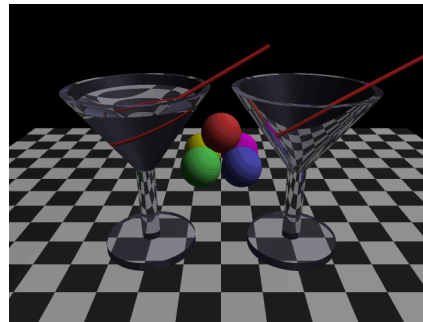
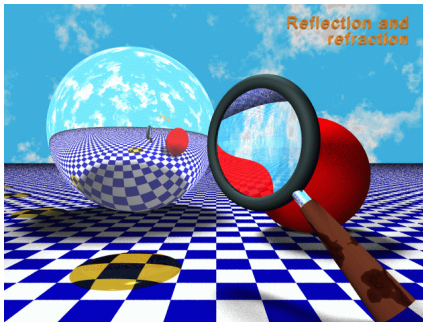


Tekstura

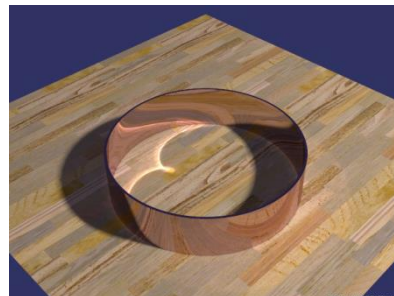


Efekti svetla

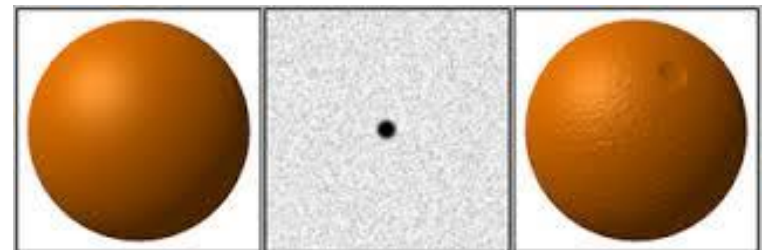
- Ogledanje i prelamanje



- Kaustika

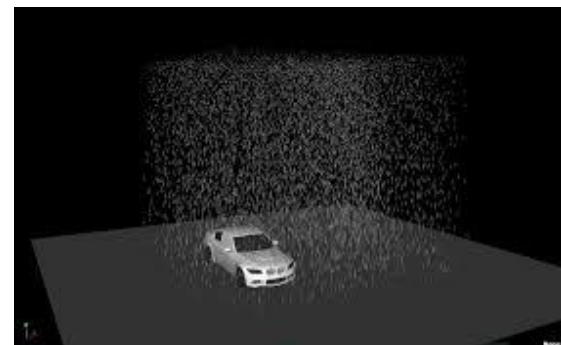


Reljef

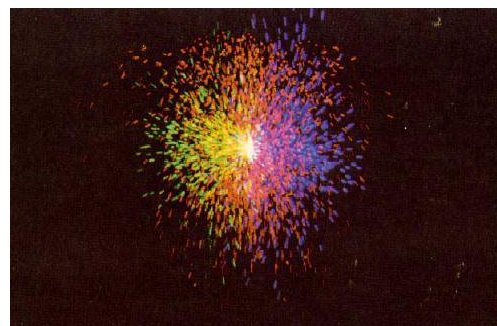


Simulacija čestica

- Prirodni fenomeni – vatra, dim, kiša



- Vatrometi



Fraktali

- Proceduralni modeli

