

## 1. Uvod

- Virtualni predmet je predmet definiran u memoriji računal na takav način da ga računal može na zaslonu prikazati korisniku uz mogućnost interakcije
- Interaktivnim prikazom smatra se prikaz prilikom kojeg korisnik u stvarnom vremenu upravlja parametrima prikaza (npr. kutom gledanja)
- 2D i 3D grafika
- Offline grafika
  - vrijeme iscrtavanja jedne slike puno je veće nego kod grafike u stvarnom vremenu
  - specijalni efekti i računalne animacije, CAD
- Online grafika (u stvarnom vremenu)
  - barem 10 fps (donja granica), no poglative iznad 30 fps
  - virtualna okruženja/svjetovi, proširena stvarnost, virtualna stvarnost, NVE...
- primjene
  - film i televizija
  - igre
  - dizajn i projektiranje
  - simulacija
  - vizualizacija
  - predstave, događaji i marketing

## 2. Modeliranje virtualne scene

- Virtualna scena je prikaz stvarnog okruženja u memoriji računala
  - potrebni svjetlo, promatrač i predmeti
- Opis virtualne scene
  - Modeliranje (*modeling*)
  - Iscrtavanje (*rendering*)
- Modeliranje
  - Prikaz geometrije poligonima
    - vrh (*vertex*), brid (*edge*), stranica/poligon (*face*)
    - veći broj poligona bolje aproksimira zakrivljenost
  - Konstruktivna geometrija čvrstih tijela (*Constructive Solid Geometry, CSG*)
    - zbrajanje, oduzimanje i presjek čvrstih tijela
    - slaganje jednostavnih oblika: kvadar, kugla, valjak, stožac, torus
  - Parametarske krivulje i plohe
    - *spline*
    - Bezierova krivulja
    - NURBS – *Non-uniform rational B-spline*
    - za oblikovanje prirodnih oblika
  - Razdjelne plohe (*subdivision surfaces*)
    - omogućuje modeliranje relativno jednostavnih osnovnih modela te zatim postizanje proizvoljno glatkih oblika, uz kontrolu glatkoće pojedinih dijelova modela
    - Doo-Sabinova i Catmull-Clarkov algoritam
  - Brišuće plohe (*sweeping surfaces*)
    - stvaraju se s povlačenjem krivulje linearno, kružno ili po drugoj krivulji
    - najčešće linearno povlačenje (ekstruzija) i rotacijsko povlačenje

- Volumenski prikazi
  - *volume elements (voxels)*
  - *octree, quadtree*
- Fraktali
  - fragmentirani, nepravilni geometrijski objekti koji pokazuju svojstvo samosličnosti
  - stvoreni rekurzivnim ponavljanjem određene funkcije
  - ponekad za modeliranje prirodnih pojava, no primjena u praksi relativno ograničena
- Sustavi čestica (*particle system*)
  - simulacija velikog broja jednostavnih čestica
  - svojstvo dinamičnosti
  - uz početne parametre (položaj, boja, oblik) postoje pravila i funkcije po kojima se pojedine čestice pomiču, mijenjaju, nestaju ili nove čestice nastaju
  - za simulaciju prirodnih pojava: vodopadi, vatra, dim, međudjelovanje mnoštva predmeta
- Modeliranje zasnovano na slikama
  - Za modeliranje objekata koji zaista postoje
  - Automatski i poluautomatski postupci
    - prikupljanje podataka (*point cloud*)
      - lasersko skeniranje, generiranje točaka iz niza fotografija, korištenje dubinskih kamera (npr. Microsoft Kinect)
    - generiranje geometrije (niz trokuta)
    - generiranje teksture
- Model kamere
  - zasniva se na projekciji – scena se projicira na projekcijsku plohu
  - ortogonalna ili perspektivna projekcija (najčešće se koristi)
  - perspektivna projekcija
    - središte projekcije (*center of projection, COP*)
    - projekcijski prozor (*view-plane window, VPW*)
    - normala na projekcijsku plohu (*view-plane normal, VPN*)
    - bliska i daleka odrezujuća ploha (*near/far clipping plane, NCP/FCP*)
- Model osvjetljenja
  - služi za računanje osvjetljenja u promatranjoj točki na slici
  - ovisi o materijalu predmeta, svjetlima i o relativnim položajima kamere, svjetala i predmeta
  - izravno i neizravno osvjetljenje
  - difuzno i spekularno odbijanje ulazne svjetlosti
  - lom svjetlosti (refrakcija)
  - pri prolasku kroz predmet rasipanje i upijanje svjetlosti (apsorpcija)
  - unutarnje odbijanje pri izlazu
- Modeli izvora svjetlosti
  - Ambijentno svjetlo
    - definira se smjerom i intenzitetom
    - koristi se u vrlo malim količinama jer daje jednoličnu boju (gubi se 3D izgled)
  - Točkasto svjetlo
    - isijava iz jedne točke u svim smjerovima jednako
  - Reflektor
    - sličan točkastvom svjetlu, ali isijava samo u smjerovima određenim njegovim stošcem
    - često se definiraju dva stošca – u unutarnjem isijavanje je konstantno, a između unutarnjeg i vanjskog postupno pada na nulu
- Model odbijanja svjetlosti
  - za računanje lokalnog osvjetljenja
  - najčešće Phongov model
    - ambijentna komponenta
    - difuzna komponenta

- spekularna komponenta

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

KOEFICIJENTI MATERIJALA

- Model materijala
  - opisuje kako materijal odbija svjetlost
  - daje materijalu svojstva koja se manifestiraju kao boja, sjaj i prozirnost predmeta
  - obično se uključuju i texture

## 4. Iscrtavanje virtualne scene

- iscrtavanje slike – *rendering* – skup postupaka kojima se iz opisa virtualne scene proizvodi slika
- u stvarnom vremenu (online) – barem 30 fps
- offline postupci – do nekoliko sati po slici
- metode organizirane u grafički protočni sustav (*graphics rendering pipeline, pipeline*)
  - na ulazu opis virtualne scene
  - na izlazu slika koja se proizvodi više puta u sekundi
- najvažnije tehnike: sjenčanje, dodavanje texture, određivanje vidljivosti, prozirnost i *antialiasing*
- praćenje zrake (*ray tracing*)
  - klasična i široko upotrebljavana metoda iscrtavanja (najprije za *offline* grafiku)
  - prilično izravno slijedi princip projiciranja na projekcijski prozor
  - izvrsno prikazuje refleksije, oštre sjene i prozirnost ("previše realistično")
  - princip praćenja zrake
    - zraku promatramo u obrnutom smjeru – od promatrača prema sceni
    - za svaku točku zaslona, prati se zraka koja kroz tu točku ulazi u scenu
    - za zraku se traži presjek s predmetima u sceni
      - ako se nađe presjek, računa se osvjetljenje u točki presjeka (npr. Phongov model)
    - računaju se zrcaljena zraka i lomljena zraka
      - postupak se rekurzivno ponavlja
    - zbrajaju se doprinosi osvjetljenja svih nađenih točaka presjeka, pomnoženi s odgovarajućim koeficijentima zrcalnog odbijanja (prozirnosti)
  - operacije:
    - računanje zrake kroz točku x,y u prozoru iscrtavanja
    - ispitivanje dubine rekurzije
    - nalaženje najbližeg presjeka zrake sa scenom
    - računanje lokalnog osvjetljenja u točki presjeka
    - ispitivanje utjecaja scene
    - računanje odbijene i lomljene zrake
    - kombiniranje lokalnog osvjetljenja i doprinosa odbijene i lomljene zrake
- grafički protočni sustav u stvarnom vremenu
  - faze grafičkog protočnog sustava: funkcijske faze
    - **aplikacijska faza** (*Application stage*)
      - predstavlja vezu između aplikacije i ostatka protočnog sustava
      - priprema elemente za iscrtavanje (najčešće trokuti, točke i crte)
      - neposredno vezana uz pojedinu aplikaciju, nema univerzalne implementacije
      - priprema se programski i izvodi na glavnom procesoru
      - sve "pametne" stvari se rade ovdje (logika, animacija, simulacija, IO, detekcija sudara...)
      - može jako utjecati na ukupnu brzinu iscrtavanja
    - **geometrijska faza**
      - ulaz: 3D poligoni, svjetla, kamera

- izlaz: 2D poligoni u ekranskim koordinatama i s određenim bojama
- zahtjevna, oko 100 FP operacija po vrhu
- implementirana sklopovski, na GPU
- **funkcijske faze**

- transformacija u prostor kamere (*Model&View Transform*)
- sjenčanje vrhova (*Vertex Shading*)
- projekcija (*Projection*)
- pbrezivanje (*Clipping*)
- preslikavanje na ekran (*Screen Mapping*)

#### ▪ **faza rasteriziranja**

- iscrtavanje točaka (piksela) na zaslonu
- upisuje boju u pojedine točke zaslona
- obavlja teksturiranje, prozirnost, antialiasing, efekte zamućenosti
- vrlo zahtjevna, gotovo uvijek izvedba na GPU
- **funkcijske faze**
  - priprema trokuta (*Triangle Setup*)
  - prolaz trokuta (*Triangle Traversal*)
  - sjenčanje točaka (*Pixel Shading*)
  - stapanje (*Merging*)

#### ○ osnovne tehnike

- sjenčanje
- preslikavanje tekstura (*texture mapping*)
- određivanje vidljivosti (metoda Z-spremnika, *Z-buffer*)
- prozirnost (*alpha blending*)
- *antialiasing*

#### • programska sučelja za 3D grafiku (API)

- struktura programskog sustava za 3D grafiku
  - aplikacija
  - programsko sučelje visoke razine (API)
  - programsko sučelje niske razine (API)
  - pogonski program (*driver*)
  - grafičko sklopovlje (GPU, memorija)
- API niske razine
  - orijentirana na protočni sustav
  - ne rade na razini modela i scena, već vrhova, linija i poligona
  - funkcije:
    - stvaranje i alokacija resursa
    - konfiguracija stanja pojedinih faza protočnog sustava
    - učitavanje programa za sjenčanje
    - naredbe iscrtavanja
    - dohvat podataka iz protočnog sustava
  - **DirectX (Direct3D)**
    - zatvoreni, vlasnički sustav
    - objektno-orijentiran
    - primarno C++, no uz COM i na .NET kroz XNA
    - D3DX: skup pomoćnih klasa i funkcija, za rad s matricama, krivuljama i mrežama poligona, za animaciju i sl.
    - zbog kompatibilnosti unutra (prije DirectX 10) potrebna programska provjera *capability bits*
  - **OpenGL**
    - otvoreno, višeplatformsko programsko sučelje

- pristup moguć iz raznih programskih jezika
- koristi se u vrlo širokom spektru aplikacija, od igara i simulacija do znanstvenih vizualizacija
- OpenGL ARB zadužen za daljnji razvoj (Architettura Review Board)
  - ARB donosi nove specifikacije i kontrolira implementacije kako bi se garantiralo da sustav radi jednako na svim platformama
- proceduralan, koncipiran kao stroj stanja
- pomoćna biblioteka GLU (kao D3DX)
- API visoke razine
  - sustavi za graf scene
    - primjeri: IRIS Performer, OpenGL SceneGraph, Java3D, OpenSG
  - sustavi za iscrtavanje (*graphics rendering engine*)
    - primjeri: OGRE, Crystal Space, Irrlicht Engine i Horde3D
  - pokretački sustav za igre (*game engine*)
    - detekcija presjeka i sudara, fizička čvrstih i mekih tijela, ulazni sustav, navigacija, 2D GUI, umrežavanje, skriptiranje...
    - primjeri: Unreal Engine, Source, id Tech, CryENGINE, Gamebryo
- ostale metode iscrtavanja
  - isijavanje (*radiosity*)
    - zasniva se na teoriji isijavanja energije i njenog prijenosa s jedne površine na drugu
    - definirano kao količina energije koja izlazi iz jedinice površine u jedinici vremena
  - vizualizacija volumena
    - reprezentacija podataka elementima volumena (*voxel*)
    - najpoznatija metoda odašiljanje zrake (*ray casting*)

## 5. Grafički procesor

- nVidia GeForce256, 1999. – prvi grafički sklop s implementacijom geometrijske faze, naziv GPU
- jedinstvena procesorska jezgra (Common Shader Core)
  - programiraju se u jezicima za sjenčanje sličnima C-u (HLSL, Cg, GLSL)
  - programi se prevode u asemblerski jezik neovisan o hardveru (virtualni stroj)
  - jedinstven model za sve procesore (od inačice Shader Model 4.0)
- 4x SIMD arhitektura
- osnovni tip podatka 4x23-bit cjelobrojni ili FP vektori
- operacije
  - množenje i zbrajanje skalara i vektora (1 takt)
  - sqrt, pow, log, sin, cos... (do 4 takta)
- memorija
  - ulazni i izlazni registri
  - registri konstanti (transformacijske matrice, svjetla...)
  - privremeni registri (međurezultati operacija)
  - teksture
- kontrola toka
  - kao na CPU (if-else, for, while)
  - statička (dobre performanse)
  - dinamička (slabije performanse zbog granularnosti)
- procesor vrhova
  - ulaz: vrh s pripadajućim podacima
  - izlaz: minimalno položaj nakon projekcije
- procesor geometrije

- ulaz: objekt (trokut, crta, točka) s pripadajućim vrhovima
- izlaz: nula ili više objekata
- primjeri korištenja: generiranje čestica raznih veličina i oblika, iscrtavanje siluete u efektu krzna, generiranje fraktalne geometrije
- procesor točaka (fragmenta)
  - ulaz: fragment (točka trokuta s podacima za sjenčanje)
  - izlaz: boja
  - operacije: izračun modela osvjetljenja, teksturiranje, efekt magle...
- stapanje
  - određivanje konačne boje točke (piksela) koja će se vidjeti na ekranu
  - određivanje vidljivosti metodom Z-spremnika
  - operacije sa spremnikom maske
- sjenčanje
  - do SM4.0 moguće *shade* pisati u assembleru
  - HLSL, GLSL, COLLADA FX


## 7. Specijalni efekti

- specijalni efekti – sve što nije rutinski dio grafičkog protočnog sustava
- dolaskom *shadera* pojam sve više gubi smisao – svi efekti su sada "specijalni"
- teksel – točka tekture na u,v koordinatama
- efekti preslikavanja tekture
  - poopćeno preslikavanje tekture
    - projekcija u parametarski prostor
    - funkcija korespondencije
    - dohvrat teksela
    - primjena teksela
  - teksturne projekcije
  - uzorkovanje i filtriranje tekture
    - uvećanje tekture
      - interpolacija metodom najbližeg susjeda (*nearest neighbor*)
      - bilinearna interpolacija (*bilinear interpolation*)
      - bikubna interpolacija (*bicubic interpolation*)
    - umanjenje tekture
      - mipmapping
      - trilinearna interpolacija
    - kompresija tekture
    - animacija tekture
    - preslikavanje materijala
    - preslikavanje prozirnosti (*alpha mapping*)
      - efekt naljepnice,
      - definiranje prozirnosti predmeta
    - preslikavanje svjetlosti (*light mapping*)
    - preslikavanje okoline (*environment mapping*)
    - kuglasto preslikavanje (*sphere mapping*)
    - kockasto preslikavanje (*cubic environment mapping*)
    - preslikavanje neravnina (*bump mapping*) – skup tehnika za simuliranje neravnih, hrapavih površina
      - preslikavanje normala
      - preslikavanje neravnina i okoline

- preslikavanje paralakse
  - preslikavanje reljefa
  - preslikavanje pomaka
- magla
  - planarna magla
    - jednostavna linearna interpolacija između originalne boje piksela i boje magle, u ovisnosti o dubini točke koja se crta
    - konstante: dubina početka magle, dubina potpune magle
  - euklidska magla (kao prethodna, skalirana po euklidskoj udaljenosti kamere i promatrane točke)
- tehnike panoa (*billboard*)
  - služe za automatsku orijentaciju nekog predmeta prema kameri
  - najčešće se ostvaruje korištenjem pravokutnika, na koji je nalijepljena 2D slika predmeta (*sprite*), uz često korištenje preslikavanja prozirnosti i animacije
  - vrste
    - pano poravnat sa zaslonom
    - globalno orijentirani pano
    - osni pano (*axial billboard*)
- sustavi čestica
  - animacija čestica
  - iscrtavanje čestica
- efekti obrade slike (*full-screen effects, post-processing effects*)
  - podrazumijevamo efekt ostvaren obradom čitave iscrtane slike
  - često se koriste za omekšavanje slike radi postizanja većeg realizma (npr. zamućenost pri gibanju)
  - posebno važni za iscrtavanje HDR slika
  - efekti:
    - preslikavanje tonova (*tone mapping*) i HDR
    - prelijevanje svjetlosti (*bloom*)
    - zamućenost pri gibanju (*motion blur*)
    - defokusiranost (*depth of field*)
- zrcaljenje
  - zrcaljenje na ravnini
- sjene
  - metoda prostora sjene
  - metoda teksture sjena
    - osnovni algoritam
    - antialiasing sjena
    - problem samosjenčanja



## 8. Ubrzavanje iscrtavanja

- mjera brzine iscrtavanja – broj slika u sekundi (fps)
- za interaktivnu 3D grafiku min. 20-30 fps
- napredak tehnologije nije rješenje – potrebne bolje metode ubrzavanja iscrtavanja
  - optimalan zapis poligona
    - naivan pristup – u protočni sustav šaljemo svaki trokut zasebno (3 vrha po trokutu)
    - mnogi vrhovi su dijeljeni među susjednim trokutima – višekratno se obrađuju
    - organiziramo trokute u spojene strukture – trake, lepeze, mreže
      - trake trokuta (*triangle strip*)
        - prosječan broj vrhova po trokutu =  $1 + 2/m$  ( $m$  - broj trokuta)
      - lepeze trokuta (*triangle fan*)
        - korisno za pretvorbu  $n$ -terokuta u trokute
      - mreže trokuta
        - najvažnija struktura za prikaz 3D geometrije
        - GPU prilagođen radu s mrežama trokuta
        - skup vrhova i slijed indeksa
        - vrh – koordinate, normala, teksturne koordinate, itd.
        - slijed indeksa definira trokute
        - dva načina predaje vrhova i indeksa
          - spremnik vrhova (*vertex buffer*)
          - struje vrhova (*vertex streams*)
  - selektivno odbacivanje poligona (*culling*)
    - ideja: poligone koji nisu u nekom trenutku vidljivi na slici ne trebamo iscrtavati
    - metode:
      - odbacivanje stražnjih poligona (*backface culling*)
        - poligoni okrenuti od kamere nisu vidljivi
      - odbacivanje po projekcijskom volumenu (*view-frustum culling*)
        - sve što je izvan projekcijskog volumena nije vidljivo
        - za provjeru vidljivosti koriste se hijerarhije obujmice, BSP i oktalna stabla
      - portalno odbacivanje (*portal culling*)
        - koristi se za scene arhitekture sa sobama
        - scena se dijeli na ćelije (sobe)
        - ćelije imaju portale (vrata) prema drugim ćelijama
        - za svaku ćeliju gradimo graf susjednosti (podaci o portalima i susjednim ćelijama)
        - iscrtavanje je rekurzivno, a izvodi se u aplikacijskoj fazi
      - odbacivanje prekrivenih poligona (*occlusion culling*)
        - predmeti često prekriveni drugim predmetima
        - neće se vidjeti zbog Z-spremnika, no on se primjenjuje tek u fazi rasterizacije
        - ideja: prekrivenu geometriju odbaciti što ranije
        - sklopovska provjera prekrivenosti (*hardware occlusion queries*)
        - Z-odbacivanje (Z-cull)
  - tehnika razina detalja
    - level of detail – LOD 
    - ideja: smanjiti razinu detalja (broj poligona) kad je predmet udaljen od kamere
    - podtehnike: generiranje, odabir, zamjena
    - metode pojednostavljenja mreže trokuta
      - eliminacija vrhova
      - eliminacija bridova
    - dvije metrike za odabir LOD razine



- udaljenost predmeta od kamere
- površina projekcije obujmice
- **optimizacija protočnog sustava**
  - najsporija faza stvara usko grlo (kao kod pokretne trake)
  - postupak
    - pronaći usko grlo
    - ubrzati tu fazu
    - ponoviti postupak
  - mjerenje performansi
  - traženje uskog grla
    - aplikacijska faza
      - 100% na CPU
      - koristiti programe za prikaz tereta procesora
      - koristiti paralelizam, optimizirati promjene stanja
    - geometrijska faza
      - 100% na GPU
      - glavne operacije – dohvat i sjenčanje vrhova
      - smanjiti količinu geometrije u g.p.s.
    - faza rasterizacije
      - 100% na GPU
      - glavne operacije – sjenčanje točaka i ROP
      - koristiti odbacivanje stražnjih poligona
      - isključiti Z-spremnik ako nije potreban

## 10. Umrežena virtualna okruženja

- UVO (*networked virtual environment, NVE*) – raspodijeljeni je programski sustav koji korisniku omogućuje prisutnost i sudjelovanje u zajedničkom virtualnom okruženju s drugim korisnicima te interakciju sa samim okruženjem i predmetima u njemu
- provodi se sinkronizacija virtualne scene
- grafički prikaz – lik korisnika u VO obično se naziva *avatar*
  - od najjednostavnijih simboličkih prikaza geometrijskim tijelima do potpuno artikuliranih tijela s (relativno) realističnim gibanjima
- podrška za "prirodnu" komunikaciju među korisnicima – razmjena tekstualnih poruka, zvuka (govora), gesti
- **mrežne karakteristike**
  - vrijeme pinga (*ping time*)
  - kapacitet (*bandwidth*)
  - trenutna propusnost (*throughput*)
  - kašnjenje (*delay, latency*)
  - kolebanje kašnjenja (*jitter*)
  - gubici (*loss*)
- **prilagodljivost veličini (*scalability*)**
  - izražava koliko neki sustav može rasti, a da se pritom ne naruši njegova funkcija
  - za UVO dobra prilagodljivost znači da sustav može podržati veliki broj istovremenih korisnika
- razrada osnovnog modela UVO-a
  - mrežni ulaz/izlaz (upravljanje vezom s kraja na kraj, obrada podataka)
  - korisničko sučelje (korisnik-virtualni svijet, skupina, prikaz v.s., prikaz ostalih podataka)
  - obrada/simulacija (upravljanje virtualnim svijetom, upravljanje sjednicom)
- usklađivanje instanci UVO putem mreže

- nije nužno slati mrežom objekte koji se ne mijenjaju (teksture, unaprijed snimljeni zvukovi, gotovi 3D objekti)
- filtriranje prema području interesa
  - nije nužno slati poruke o osvježavanju stanja izvan područja percepcije pojedinog korisnika u VO
- upravljanje zajedničkim dinamičkim stanjem
  - s obzirom da su korisnici raspodijeljeni, svaka promjena u virtualnom svijetu jednog korisnika mora se prenijeti putem mreže
  - promjene su asinkrone, dinamičke i raspodijeljene
  - dolazi do promjena zajedničkog stanja u UVO-u (skup varijabli stanja svih pojedinačnih objekata)
  - zbog osnovnog mehanizma osvježavanja dinamičkog zajedničkog stanja razmjennom poruka, stanje na različitim instancama UVO-a u trenucima između dolaska uzastopnih poruka može se razlikovati
    - dolazi do razilaženja između instanci, odnosno narušavanja konzistentnosti UVO-a
  - u višekorisničkom UVO-u svaki korisnik zapravo ima svoje viđenje zajedničkog stanja zbog utjecaja kašnjenja i kolebanja kašnjenja
- podatkovni modeli
  - model sa zajedničkim podacima
    - podaci od 3D virtualnom svijetu pohranjeni su u repozitoriju, "baz podataka"
    - centralizirano ili distribuirano
    - sva komunikacija se obavlja preko središnjeg repozitorija
      - sadrži sve podatke o zajedničkom stanju UVO-a
      - svi čvorovi u svakom trenutku imaju isti pogled na to zajedničko stanje
  - model s repliranim podacima
    - više raspodijeljenih kopija stanja (replike)
    - potpuna ili djelomična replikacija
    - prednosti: smanjeni mrežni promet, vremenska neovisnost obrade na pojedinačnim instancama, odlična prilagodljivost veličini
- predikcija i algoritam mrtve procjene (*dead reckoning*)
  - predikcija
  - konvergencija
- kontrola pristupa i vlasništvo nad objektima
  - poslužitelj za upravljanje zaključavanjem
  - raspodijeljeni pristup (neovisni simulator)
- kauzalnost
  - očuvanje uzročno-posljedičnog odnosa među događajima
- percepcija poštene igre
  - utjecaj kašnjenja i kolebanja kašnjenja na konzistentnost
- kompenzacija kašnjenja u vizualnom prikazu
  - rastezanje vremena (*time warp*)
- oblikovanje programskog rješenja UVO-a
  - strukturiranje virtualnog prostora
    - podijeljeni poslužitelji
    - jednolična geometrijska struktura
    - slobodna geometrijska struktura
  - arhitektura raspodijeljene aplikacije UVO-a
    - klijent-poslužitelj
    - ravnopravni procesi
  - vrste mrežnog prometa
    - učitavanje
    - poruke sustava
    - događaji
    - osvježavanje stanja
    - tekst

- zvuk
  - video
- način distribucije poruka
  - jednodređišna komunikacija
  - višeodređišno razaslanje