

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 promatranoj 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

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

KOEFIJIENTI 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**
 - iscertavanje 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 iscertavanja
 - 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, OpenSceneGraph, 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 razmjenom 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
 - jednodređena komunikacija
 - višedređeno razilažanje