Poglavlja 1,2,4,5,7,8,10

# 1. Uvod

* Virtualni predmet je predmet definiran u memoriji računal na takav način da ga računalo 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 poglativo 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 lane, 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 (refreakcija)
  + pri prolasku kroz predmet rasipanje i upijanje svjetlosti (apsorpcija)
  + unutarnje odbijanje pri izlazu
* Modeli izvora svjetlosti
  + Ambijentno svjetlo
    - definira se smjerom i intezitetom
    - 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 konstatno, 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
    - 
* Model materijala
  + opisuje kako materijal odbija svjetlost
  + daje materijalu svojstva koja se manifestiraju kao boja, sjaj i prozirnost predmeta
  + obično se uključuju i teksture

# 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 teksture, 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:
    - **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 unutrag (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 (Architectura 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 (fragmenata)
  + 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 *shadere* 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 teksture na u,v koordinatama
* efekti preslikavanja teksture
  + poopćeno preslikavanje teksture
    - projekcija u parametarski prostor
    - funkcija korespondencije
    - dohvat teksela
    - primjena teksela
  + teksturne projekcije
  + uzorkovanje i filtriranje teksture
    - uvećanje teksture
      * interpolacija metodom najbližeg susjeda (*nearest neighbor*)
      * bilinearna interpolacija (*bilinear interpolation*)
      * bikubna interpolacija (*bicubic interpolation*)
    - umanjenje teksture
      * mipmapping
      * trilinearna interpolacija
    - kompresija teksture
    - animacija teksture
    - 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 stražnih 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 (*bandwith*)
  + 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-virualni 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 replcirianim podacima
    - više raspodijeljenih kopija stanja (replike)
    - potpuna ili djelomična replikacija
    - prednosti: smanjeni mrežni promet, vremenska neovisnost obrade na pojedinačnim instacama, 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 kašnejnaj 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 aplkacije UVO-a
    - klijent-poslužitelj
    - ravnopravni procesi
  + vrste mrežnog prometa
    - učitavanje
    - poruke sustava
    - događaji
    - osvježavanje stanja
    - tekst
    - zvuk
    - video
  + način distribucije poruka
    - jednoodredišna komunikacija
    - višeodredišno razašiljanje