



FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
 LABORATORIJ ZA INTERAKTIVNE SIMULACIJSKE SUSTAVE



# Interaktivni simulacijski sustavi


## 3D modeliranje


Prof.dr.sc. Krešimir Ćosić  
Dr.sc. Siniša Popović

---

LISS, FER, Zagreb

1





# 3D modeliranje

- ▶ Reprezentiranje geometrije objekata u trodimenzionalnom (3D) prostoru
- ▶ Zasniva se na matematičkim konceptima točke, linije, poligona, normale itd.
- ▶ Također uključuje analogije sa stvarnim svijetom: boje, materijale, teksture itd.
- ▶ Značaj u simulatorima – osigurava bogatstvo i složenost virtualne scene koje dovoljno odgovaraju stvarnom svijetu da bi pomogli prijenosu utreniranih vještina iz simulatora u stvarni svijet

---

LISS, FER, Zagreb

2





# 3D modeliranje

- ▶ **3D model** – reprezentacija načina na koji objekt zauzima 3D prostor
  - Kako bi reprezentirali kocku? Npr. koordinatama za svaki od njenih 8 vrhova i navođenjem koji vrhovi čine pojedine strane kocke.
- ▶ Što sve može obuhvaćati 3D modeliranje
  - **Akviziciju** – dobivanje oblaka točaka (*point cloud*) u 3D prostoru koje reprezentiraju neki objekt iz stvarnog svijeta, npr. pomoću laserskog skenera ili ekstrakcije 3D informacija iz slike
  - **Rekonstrukciju** – povezivanje točaka iz oblaka dobivenog akvizicijom u mrežu poligona
  - **Interaktivno ili proceduralno modeliranje** – npr. ručno modeliranje parametarskim ploham u nekom alatu (kontinuirana reprezentacija), ili algoritam generiranja terena pomoću fraktala (proceduralna reprezentacija)
  - **Uzorkovanje** – dobivanje mreže poligona iz kontinuirane ili proceduralne reprezentacije

---

LISS, FER, Zagreb

3







# Područja primjene 3D modela

<b>Scientific visualisation I</b> (Motion planning) 	<b>Scientific visualisation II</b> (Motion capture) 	<b>CAD</b> (Feasibility study) 
<b>Virtual walkthrough</b> (The Blob) 	<b>Games</b> (Super Mario Galaxy) 	<b>Education and training</b> (Ship simulator) 

---

LISS, FER, Zagreb

4



## 3D modeliranje

- Razlikovati od **iscrtavanja** – stvaranja 2D slike 3D scene
- Naravno, jedna od čestih primjena 3D modela je upravo u iscrtavanju, ali nije i jedina

---

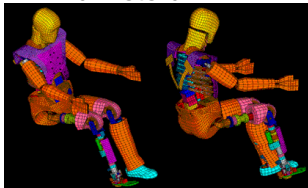
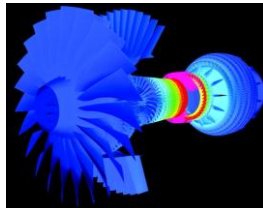
LISS, FER, Zagreb

5

## 3D modeliranje

- Neke druge primjene
  - U biomehanici za simulacije učinka automobilske sudara na vozača
  - Simulacije promjena temperature i tlakova u motoru



---


<http://www.volpe.dot.gov/safety/biomodeling.html>  
 LISS, FER, Zagreb

---



<http://www.energyfromthorium.com/forum/viewtopic.php?t=17&h=108>  
 (AVETEC / NASA GLENN RESEARCH CENTER )

6

## 3D modeliranje



- Dvije velike skupine 3D modela
  - **Površinski modeli** (*surface models*) – reprezentiraju samo površinu objekta ne i unutrašnjost tj. volumen
    - Često korišteni kod iscrtavanja jer je tu bitno znati vanjski izgled objekta – ne modelira se ono što se ne vidi
  - **Volumni modeli** (*volumetric models*) – reprezentiraju čitav volumen objekta
    - Za druge primjene kao na prethodnom *slideu*
    - U medicini



---

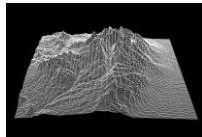



[http://www.cs.sunysb.edu/~vislab/sample\\_images/biomedical.html](http://www.cs.sunysb.edu/~vislab/sample_images/biomedical.html)  
 LISS, FER, Zagreb

7

## 3D modeliranje terena

- Standardni formati za predstavljanje terena:
  - Digital Elevation Model (DEM)
  - Triangular Irregular Network (TIN)
- Postoje i druge reprezentacije, npr. mapa kontura (*contour map*) – slabije prilagođena za prikaz terena pa ne razmatramo detaljnije

---


<http://rockyweb.cr.usgs.gov/images/bpgrid.gif>  
 LISS, FER, Zagreb


---


<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/grd/tate/study/remoteTermProj.html>


---


[http://en.wikipedia.org/wiki/Contour\\_line](http://en.wikipedia.org/wiki/Contour_line)

8




## DEM




- ▶ Dvodimenzionalna strukturirana rešetka (*regular grid*) gdje je svakoj točki rešetke pripisana visina
- ▶ Za terene koji odgovaraju područjima na Zemlji rešetka tipično zadana u:
  - Koordinatnom sustavu zemljopisne širine i dužine (*latitude-longitude*)
  - UTM koordinatnom sustavu (*Universal Transversal Mercator*) – njega ne opisujemo detaljnije
- ▶ Za generičke terene, rešetka može biti zadana u običnoj, Kartezijevoj,  $xy$  ravnini

LISS, FER, Zagreb

9



## DEM




- ▶ Sustav zemljopisne širine-dužine
  - Fiksirani razmaci u rešetki po zemljopisnoj širini i dužini


[https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c7\\_p8.html](https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c7_p8.html)

LISS, FER, Zagreb

10




## DEM




- ▶ Sustav zemljopisne širine-dužine
  - Koriste ga dva najčešća formata DEM datoteka
    - DEM format agencije U.S. Geological Survey (USGS) – za srednju i malu razinu razlučivosti, dok za najvišu razinu primjenjuju UTM sustav
    - DTED (*Digital Terrain Elevation Data*) format američke vojske – za sve 3 razine razlučivosti
  - USGS DEM-ovi javno su dostupni za besplatno ili jeftino skidanje, DTED je javno dostupan u najnižoj razlučivosti i to besplatno, ostale razlučivosti pod kontrolom

LISS, FER, Zagreb

11



## TIN





- ▶ Umjesto pravilne rešetke DEM-a koristi mrežu trokutova u ravnini i svakom vrhu pridruženu visinu
- ▶ Nema pravilnosti u ravnini kao rešetka DEM-a pa datoteke u ovom formatu sve  $xy$  koordinate vrhova moraju eksplicitno zapisati
  - $(x_n, y_m)$  u rešetci DEM-a moguće izračunati iz početnih  $x_0$  i  $y_0$  koordinata i koraka,  $(x_0 + n\Delta x, y_0 + m\Delta y)$

<http://www.geog.buffalo.edu/arcinfo/aivwwtu/step3.html>

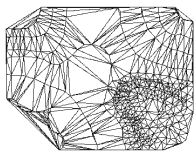

LISS, FER, Zagreb

12



## TIN

- ▶ Prednost spram DEM formata
  - Na mjestima gdje je geometrija terena male zakrivljenosti može se koristiti manji broj geometrijskih primitiva (trokutova)
  - Na taj način omogućuje efikasnije iscrtavanje od DEM-a za istu razinu točnosti aproksimacije geometrije, jer DEM treba poslati veći broj poligona na grafičku karticu

LISS, FER, Zagreb
<http://www.geog.buffalo.edu/arcinfo/aiwww/tut/step3.html>

13

## Baza podataka terena


- ▶ Dio podataka se nabavlja zbog efikasnosti izrade i/ili neposjedovanja tehnologije
  - Elevacije stvarnih terena – npr. zapisane u DEM ili TIN formatu
  - Teksture stvarnih terena dobivene snimanjem iz satelita ili zrakoplova – npr. zapisane u nekom slikovnom formatu (JPG, TIFF itd.)

14






## Baza podataka terena

- ▶ Dio se modelira tj. naknadno dodaje primjenom raznih alata, npr. kulture
  - Središnje linije cesta i željezničkih pruga
  - Obale jezera i mora
  - Linije vodenih tokova (rijeka, kanala i potoka)
  - Obrisi šuma i drugih tipova terena
  - Pozicije većih zgrada i sličnih objekata
- ▶ Dio kultura moguće je automatski prepoznati iz snimaka



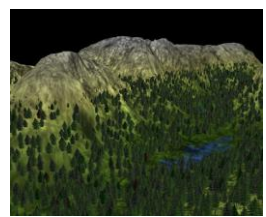
LISS, FER, Zagreb

15



## Baza podataka terena

- ▶ Pojedinačni 3D modeli objekata izrađuju se posebno i stavljaju na mjesta gdje su označene odgovarajuće kulture
  - Zgrade
  - Šume
  - Stupovi i vodovi dalekovoda
- ▶ Postoje razni pristupi modeliranju pojedinih objekata
- ▶ Osim ručno, moguće je i proceduralno popuniti područje određene kulture – npr. algoritmsko generiranje šume primjenom 3D modela raznog drveća




LISS, FER, Zagreb
[http://www.hoglund.ca/image\\_viewer.asp?file=images/portfolio/forest\\_big.jpg](http://www.hoglund.ca/image_viewer.asp?file=images/portfolio/forest_big.jpg)

16






## Osnovni pojmovi

- ▶ Točke – tri koordinate u Kartezijevom sustavu (x, y, z)
- ▶ Poligoni – ravninski likovi omeđeni konačnim nizom dužina (bridova)
  - Trokutovi, četverokuti itd.
  - Konveksni, nekonveksni, samopresijecajući
- ▶ Konveksni poligoni značajni u 3D modeliranju – njima je moguće definirati površinu objekta, pogodni kod iscrtavanja
- ▶ Vektori – bitni npr. kod računanja osvjetljenja, definiranja unutrašnjosti objekta, zadavanja pomaka itd. – također zadani s tri koordinate (x, y, z)





LISS, FER, Zagreb
 17

## Osnovni pojmovi

- ▶ Transformacije
  - Omogućuju pozicioniranje 3D modela u virtualnoj sceni, npr. spram fiksnog koordinatnog sustava svijeta
- ▶ Neke tipične transformacije su
  - Translacija ili pomak
  - Rotacija
  - Skaliranje tj. promjena mjerila



LISS, FER, Zagreb
 18

## Osnovni pojmovi

- ▶ Transformacije u 3D prostoru tipično se predstavljaju matricama – omogućuju jednostavno ulančavanje transformacija množenjem matrica
- ▶ No ne 3x3, već 4x4, iako se točke mogu prikazati s 3 koordinate.
  - Translaciju je nemoguće prikazati 3x3 matricom, jer translacija nije tzv. linearni operator u 3D prostoru.
- ▶ Matrice djeluju na točkama, pa točke treba predstaviti s 4 koordinate
  - Uvodi se tzv. homogena koordinata
  - (x, y, z) se piše kao (x, y, z, 1), što predstavlja istu točku kao i (2x, 2y, 2z, 2), (kx, ky, kz, k), k>0
  - Time se točka (x, y, z) poistovjećuje s pravcem koji prolazi kroz nju i ishodište (0, 0, 0) fiksnog globalnog koordinatnog sustava virtualne scene


LISS, FER, Zagreb
 19


## Osnovni pojmovi

- ▶ Translacija za vektor ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ )
 
$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix}$$
- ▶ Rotacija za kut  $\alpha$  oko x-osi (u matematički pozitivnom smjeru = suprotno od kazaljke na satu = “pravilo desne ruke”, palac pokazuje u smjeru osi rotacije)
 
$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

LISS, FER, Zagreb
 20




## Osnovni pojmovi




- ▶ Rotacija za kut  $\beta$  oko y-osi (u pozitivnom smjeru)
 
$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
- ▶ Rotacija za kut  $\gamma$  oko z-osi (u pozitivnom smjeru)
 
$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

LISS, FER, Zagreb
21




## Osnovni pojmovi




- ▶ Skaliranje
 
$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
- ▶ Raspisati po koordinatama kako izgleda  $x'$ ,  $y'$  i  $z'$ ,  $h'$  preko  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $h$  za svaku od transformacija
  - Npr. translacija:  $x' = x + h\Delta x$ ,  $y' = y + h\Delta y$ ,  $z' = z + h\Delta z$ ,  $h' = h$  (tu je lako vidljivo da se svaka točka pomiče za vektor  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ , jer točka u 3D prostoru koja odgovara homogenim koordinatama  $(x, y, z, h)$  jest  $(x/h, y/h, z/h)$ )

LISS, FER, Zagreb
22




## Osnovni pojmovi




- ▶ Pojedinom vrhu/poligonu moguće je u postupku modeliranja pripisati **boju** ili **materijal**, npr. kao vektor s četiri komponente  
(red, green, blue, alpha)

alpha je prozirnost, npr. ako su moguće vrijednosti  $[0, 1]$ , 0 može značiti posve prozirno, a 1 posve neprozirno

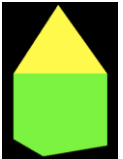
LISS, FER, Zagreb
25





## Osnovni pojmovi



- ▶ Boja vrha/poligona – ima smisla ako prilikom iscrtavanja neće biti svjetla u sceni
  - Konačna boja vrha/poligona u iscrtanoj slici točno će odgovarati zadanoj.
  - Nerealistično jer tako ne funkcionira stvarni svijet – teško je dobiti osjećaj trodimenzionalnosti scene




LISS, FER, Zagreb
26


## Osnovni pojmovi

- Materijal vrha/poligona – očekuje se da postoji svjetlo u sceni i na temelju interakcije svjetla i materijala dobit će se konačna boja vrha/poligona u iscrtanoj slici
  - Iscrtana slika puno više će podsjećati na stvarni svijet, jasnije uočljiva trodimenzionalnost



LISS, FER, Zagreb
<http://kyrah.net/scratch/opengl/cg-intro-2-reloaded.pdf>


27




## Osnovni pojmovi



- Osim boje i materijala, moguće je zadati sliku, odnosno teksturu, iz koje piksele treba preslikati na pojedini poligon – **preslikavanje teksture** (*texture mapping*)
  - Bitno poboljšava dojam detaljnosti 3D modela prilikom iscrtavanja, bez ikakvog povećanja broja vrhova
  - Za tipičnu 2D sliku kao teksturu, određuju se 2 koordinate (s, t) koje trebaju pasti na dotični vrh poligona





LISS, FER, Zagreb

28






## Alati za 3D modeliranje

- Općenito 3D modeliranje
- Modeliranje za CAD/CAM primjene (*computer aided design/manufacturing*)
- Modeliranje ljudi
- Modeliranje terena

LISS, FER, Zagreb

29

## Alati za 3D modeliranje

- Općenito 3D modeliranje
  - Presagis **Creator** – OpenFlight format – vrlo često upotrebljavan u području simulacije, koristi se nerijetko i za terene
  - Autodesk **3ds max** – 3DS i MAX formati – vrlo uvriježen generalno, uključujući i računalne igre
  - Autodesk **Maya** – čest u filmskoj industriji
  - NewTek **LightWave 3D** – čest u filmskoj industriji
  - **Blender** – besplatni alat otvorenog koda s bogatom funkcionalnosti

LISS, FER, Zagreb

30






## Alati za 3D modeliranje

- Modeliranje za CAD/CAM primjene
  - Autodesk **AutoCAD**
- Modeliranje ljudi
  - Smith Micro Software **Poser**
- Modeliranje terena
  - Presagis **Terra Vista** – TerraPage format – čest format u području simulacije – za velike terene koji se ne mogu cjelokupni i u visokoj razlučivosti držati u RAM-u
  - DAZ 3D **Bryce** – fraktalno generiranje terena



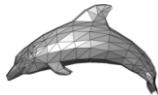
LISS, FER, Zagreb

31


## Primjeri reprezentacija 3D objekata

- Oblak točaka (*point cloud*)
  - Nestrukturirani skup točaka u 3D prostoru
  - Npr. može se pojaviti kao rezultat skeniranja stvarnog objekta laserskim skenerom
- Vokseli (*voxels*)
  - Uniformna rešetka volumnih elemenata – volumni pikseli – male kocke
- Juha poligona (*polygon soup*)
  - Posve nestrukturirani, kaotični skup poligona – mogu biti nepovezani, presijecati se
- Mreža poligona (*polygon mesh*)
  - Povezani skup poligona bez presjeka

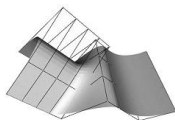
LISS, FER, Zagreb

32



## Primjeri reprezentacija 3D objekata

- Parametarske plohe
  - Definirane dvoparametarskom funkcijom  $(x, y, z) = (f(u, v), g(u, v), h(u, v))$
  - Što je  $(x, y, z) = (u, 0, v)$ ? Ravnina
  - Što je  $(x, y, z) = (2\cos u \cos v, 2\cos u \sin v, 2\sin u)$ ? Sfera polumjera 2 oko ishodišta
  - Složenije plohe korisne u 3D modeliranju su Bezierove plohe, B-spline plohe ...
- Implicitne plohe
  - Definirane kao skup svih nultočki funkcije koja djeluje u 3D prostoru  $f(x, y, z) = 0$
  - Što je  $x^2 + y^2 + z^2 - 2 = 0$ ? Sfera polumjera 2 oko ishodišta.




LISS, FER, Zagreb

33

## Primjeri reprezentacija 3D objekata

- Hijerarhijski model grafa scene
  - Hijerarhijski graf (npr. stablo) sastavljeno od raznih tipova čvorova
    - Stablo – čvorovi mogu imati više djece, a djeca samo jednog roditelja
    - Napredni grafovi scene omogućuju i više roditelja istog djeteta, zbog određenih optimizacija
  - U listovima tj. završnim čvorovima nalazi se konkretna geometrija (npr. u obliku mreže poligona)
  - Čvorovi koji nisu listovi su grupirajući čvorovi koji mogu imati više djece, a ovisno o tipu mogu obavljati još dodatnih funkcija
    - Držati transformaciju koja se primjenjuje na djecu – transformacijski čvor
    - Predstavljati kontejner za različite razine detalja istog objekta – LOD (*level-of-detail*) čvor

LISS, FER, Zagreb

34



## Primjeri reprezentacija 3D objekata

### ► Hijerarhijski model grafa scene

Oblik grafa scene može ovisiti o načinu pozicioniranja – ovdje su valjak i kocka relativno pozicionirani spram crvene ravnine i sfera je relativno pozicionirana spram valjka

LISS, FER, Zagreb

## Primjeri reprezentacija 3D objekata

### ► Hijerarhijski model grafa scene

Oblik grafa scene može ovisiti o načinu pozicioniranja – ovdje su svi objekti direktno pozicionirani spram globalnog koordinatnog sustava (g.k.s.) scene

LISS, FER, Zagreb

## Primjeri reprezentacija 3D objekata

### ► Konstruktivna geometrija krutih tijela (*constructive solid geometry, CSG*)

- Upotrebljavaju se osnovni objekti iz kojih se skupovnim operacijama dobivaju novi objekti:  
**unija, razlika, presjek**



LISS, FER, Zagreb

## Primjeri reprezentacija 3D objekata

### ► Konstruktivna geometrija krutih tijela (*constructive solid geometry, CSG*)

- Kako vidimo, osnovni gradivni elementi ovdje nisu poligoni kao u mreži poligona, već pravi 3D objekti – kocka, kugla, valjak ...

LISS, FER, Zagreb






## Mreža poligona

- ▶ Ovo je izuzetno popularan oblik reprezentacije, jer je vizualizacija vrlo popularna primjena 3D modela
- ▶ Najčešće su mreže trokuta – ako mreža ima drugi tip poligona lako se može triangulirati
- ▶ Prednosti trokuta kao poligona u mreži:
  - Svi vrhovi mu uvijek leže u istoj ravnini – to npr. nije istina za bilo kakva 4 vrha u prostoru
  - Rad s trokutovima podržan u hardveru – grafičkim karticama

---

LISS, FER, Zagreb
39






## Mreža poligona

- ▶ Mreža poligona uključuje
  - Vrhove (*vertices*)
  - Bridove (*edges*)
  - Strane (*faces*)
- ▶ Vrhovi su *geometrijska* informacija, a bridovi i strane *topološka* informacija (govori o tome što je s čim povezano)

---

LISS, FER, Zagreb
40

## Mreža poligona



- ▶ Vrlo jednostavan format za reprezentaciju mreže poligona mogao bi biti npr:
 

```

broj_vrhova_n    broj_trokutova_m
x1 y1 z1 // decimalne vrijednosti koordinata
...
xn yn zn
v11 v12 v13 // cjelobrojni indeksi vrhova
...
vm1 vm2 vm3
      
```

---

LISS, FER, Zagreb
47






## Razine detalja (LOD)

- ▶ 3D modeli da bi realistično izgledali trebaju puno poligona
- ▶ Što više poligona, više vremena treba računalu za iscrtavanje
- ▶ Da bismo osigurali zahtjeve na stvarno vrijeme u simulatoru, trebamo držati brzinu iscrtavanja dovoljno visoku
- ▶ Stoga strategije upravljanja razinama detalja pokušavaju prilagoditi razlučivost mreže poligona uvjetima pod kojima se mrežu promatra
- ▶ Ideja: koristiti što manji broj poligona, a da se ne promijeni percipirana vizualna složenost scene

---

LISS, FER, Zagreb
50






## Razine detalja (LOD)


► Primjer

- Laserskim skenerima moguće je dobiti vrlo visoku razlučivost skeniranih stvarnih objekata
- Milijarde poligona
- S takvim modelima teško je postići adekvatne brzine iscrtavanja

LISS, FER, Zagreb

51





## Razine detalja (LOD)

- Kako se objektu približavamo u stvarnom svijetu, on postaje jasniji (daleki objekti ne vide se detaljno)
- Tu analogiju koristimo i u virtualnoj sceni – imamo više modela za isti objekt, svaki s različitim brojem poligona
- Onda možemo izmjenjivati modele tijekom iscrtavanja, tako da što bliže prilazimo objektu, to uzimamo sve veću razinu detalja

LISS, FER, Zagreb

52





## Razine detalja (LOD)

► Primjer – na svim slikama ispod automobil ne pokazuje uočljive posljedice smanjenja broja poligona, jer je i on manji tj. zauzima manje piksela na ekranu

Triangles:
41,855
27,970
20,922
12,939
8,385
4,766

LISS, FER, Zagreb

53







## Razine detalja (LOD)

- Generiranje različitih razina detalja naravno da se može raditi ručno, ali to nije lak ni brz posao
- Razvijene su tehnike automatskog pojednostavljivanja mreže
- Generalni pristup – krenuti od izgrađenog modela koji predstavlja najvišu razinu detalja i onda pojednostavljivati

(a) Base mesh  $3P$  (150 faces)    (b) Mesh  $3P^{10}$  (500 faces)    (c) Mesh  $3P^{20}$  (1,000 faces)    (d) Original  $3P = 3P$  (13,546 faces)

LISS, FER, Zagreb



54

## Modeliranje generičkih terena primjenom fraktala

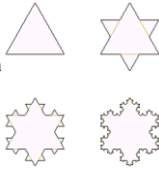
- Mreža poligona **generičkih** terena, koji ne predstavljaju specifičan dio stvarnog dijela Zemlje ili drugih planeta, može se osim interaktivnog modeliranja, modelirati i fraktalima
- Fraktali
  - Predstavljaju oblik **proceduralnog modeliranja** – automatskog stvaranja modela računalnim programom
  - Korisni za opisivanje prirodnih fenomena – terena, biljaka, oblaka ...

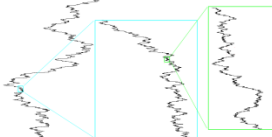
LISS, FER, Zagreb
 58

## Modeliranje generičkih terena primjenom fraktala

- Fraktali
  - Geometrijski oblici koji imaju svojstvo **samosličnosti** kada ih se promatra na različitim skalama
    - Deterministička – doslovna samosličnost, mali dio je točna kopija velikoga
    - Statistička – približna samosličnost, čuva neka statistička/numerička svojstva

Konstrukcija  
Kochine  
pahuljice
 



Statistička samosličnost

LISS, FER, Zagreb
 59






## Modeliranje generičkih terena primjenom fraktala

- Fraktali
  - U prirodi nalazimo statističku samosličnost i uz ograničen broj samosličnih razina (za razliku od npr. Kochine pahuljice)

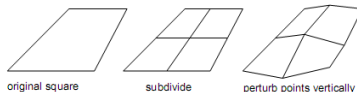


LISS, FER, Zagreb
 60



## Modeliranje generičkih terena primjenom fraktala

- Fraktali
  - Jednostavni algoritam fraktalnog modeliranja terena – stvara se rekurzivnim podjelama mreže:
    - Razdvoji početni kvadrat na 2x2 rešetku
    - Za svaki od 5 novih vrhova, slučajno odaberi iznos vertikalne perturbacije i pomakni vrh vertikalno za taj iznos
    - Ponovi proces za svaki novi kvadrat, uz smanjivanje perturbacije
  - Ovdje se radi o statističkoj samosličnosti



original square      subdivide      perturb points vertically

LISS, FER, Zagreb
 61





## Generički teren iz SIMIG simulatora – konačna karta

- ▶ Ortogonalna projekcija terena
- ▶ Površine 50 x 50 km<sup>2</sup>
- ▶ Obilježeni karakteristični objekti
- ▶ Vidljiva podjela na ploče
  - 6 x 5 ploča
  - Svaka u 3 razine detalja geometrije i tekstura



LISS, FER, Zagreb64



## Zahvale

- ▶ Dio materijala u ovom predavanju preuzet je ili prilagođen iz nastavnih materijala na sljedećim adresama
  - <http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/ddm/slides.htm>
  - [http://www.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/3\\_primitive.pdf](http://www.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/3_primitive.pdf)

LISS, FER, Zagreb67