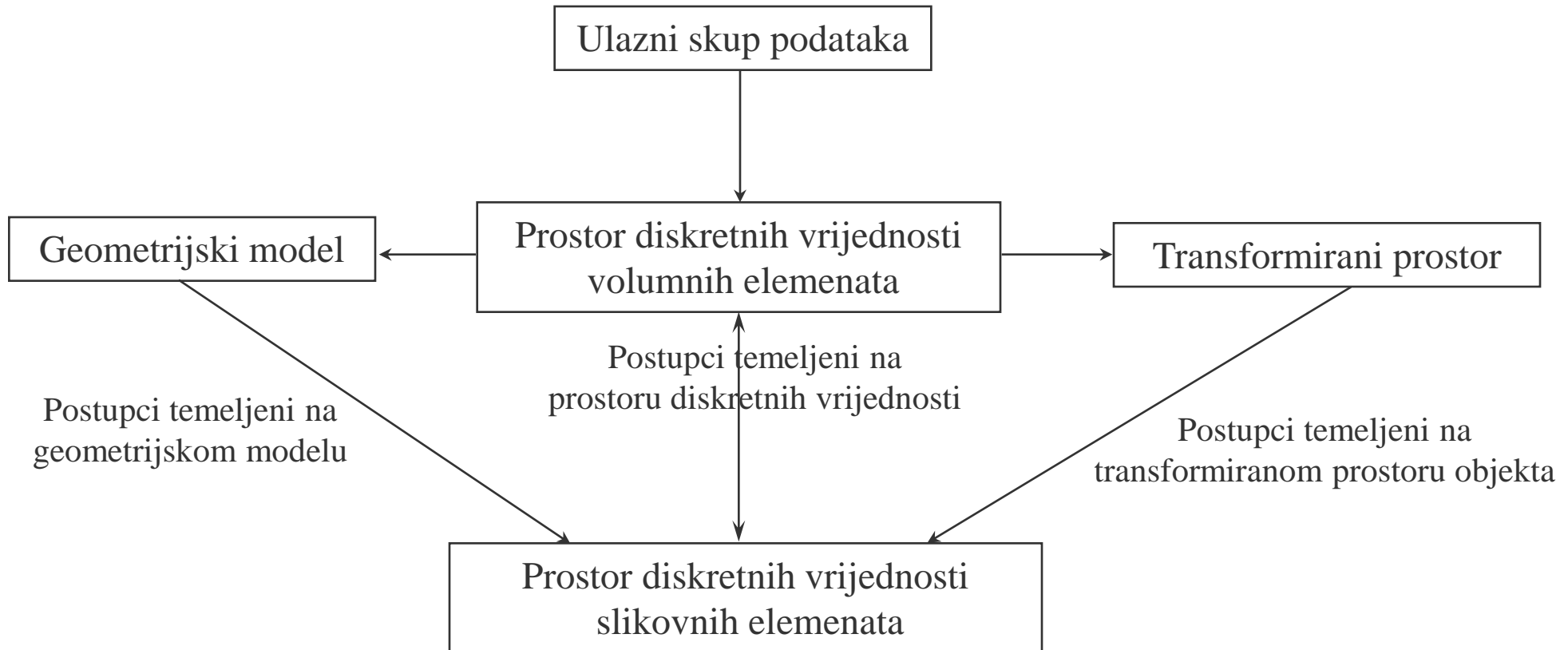


2. Podjela postupaka vizualizacije

Ulazni skup podataka

- strukturirani podaci
 - organizirani u računalu prepoznatljivu strukturu,
 - te strukture se mogu preslikati u oblik *veličina –vrijednost*, mogu biti 1D ili višedimenzijски grafovi
- polu-strukturirani podaci
 - ne mogu se izravno preslikati u oblik *veličina –vrijednost*, npr. tablica u kojoj je neki stupac slika ili tekst
- nestrukturirani podaci
 - ne postoji unaprijed definirana i prepoznatljiva struktura
 - nepoznati broj značajki koje opisuju određeni podatak, kao i nepoznati broj vrsta relacija kojima je taj podatak povezan s ostalim podacima u razumljiv kontekst - puno mogućnosti
 - cilj vizualizacije je dovođenje podataka u razumljiv kontekst

Podjela postupaka vizualizacije za strukturirane podatke



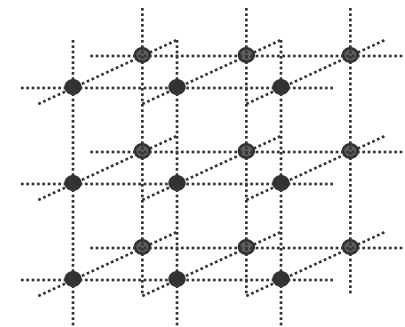
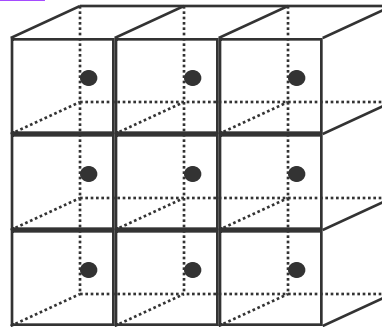
Prostor volumnih elemenata

- volumni element – voxel po uzoru na element slike – pixel, $\mathbf{r} \in \mathbf{R}^3$, $V(t, \mathbf{r})$
 - $V(t, \mathbf{r}) \in \mathbf{R}$ skalarno (gradijent na skalarnom polju dat će vektorsko polje)
 - $\mathbf{V}(t, \mathbf{r}) \in \mathbf{R}^3$ vektorsko polje (*vector field*), općenito može biti više vrijednosti pridruženo
- diskretne vrijednosti
 - vrijednost u središtu elementa
 - vrijednosti u vrhovima kocaka
- određivanje kontinuirane vrijednosti na osnovi uzoraka
- nalaženje istovrijedne površine
- rekonstrukcija (interpolacija)

<http://www.gris.uni-tuebingen.de/areas/scivis/volren/datasets/datasets.html>

<http://www.lebarba.com/WebGL/Index.html>

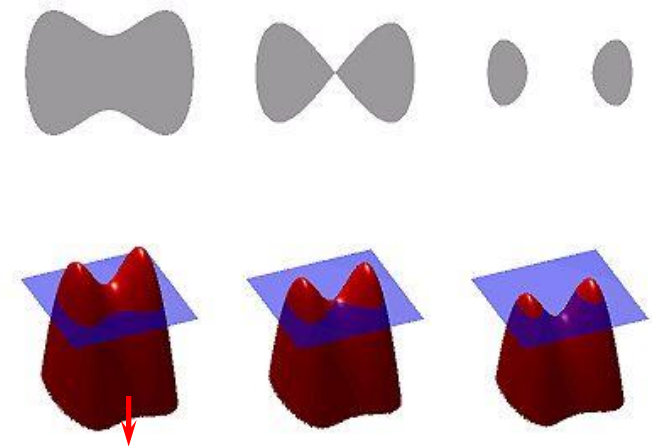
- <http://www.cs.uoregon.edu/~tomc/jquest/SushiPlugin.html>



- temeljni zadatak
 - preslikavanje podataka u vizualne parametre
 - uzorkovane podatke želimo prikazati, prikazivanje sloj po sloj daje uvid ali želimo izdvojiti pojedine dijelove kako bi vidjeli oblik i našli problematična mjesta
 - različiti pristupi problemu (različite tehnike kako ostvariti prikaz)
 - predstavljanje 3D skupova podataka (istovrijednih površina)
 - <http://www.callutheran.edu/BioDev/omm/surfaces/surfaces/surfaces.htm>

- Razina skupa (*level set*)

- matematička definicija $\{(x_1, \dots, x_n) \mid f(x_1, \dots, x_n) = c\}$
- 2D to je linija konture (izohipsa, izobara, izoterma)
- kontura $\Gamma : \{(x, y) \mid \varphi(x, y) = 0\}$, $\varphi \dots$ funkcija razine skupa
- kontura Γ je definirana implicitno preko φ ,
 $\varphi < 0$ unutar, $\varphi > 0$ izvan
- jednadžba razine skupa – pomicanje presječne ravnine konstantnom brzinom, dobit ćemo niz kontura (možemo interpretirati kao “brdo” u prostoru ili kao sekvencu promjena u vremenu)
- 3D to je izo-površina (nD hyper-surface)
- $f(x, y, z) = c$ postavljanje vrijednosti praga
 - jedna vrijednost, više vrijednosti



2.1 Ulazni skup podataka

a) Podaci dobiveni uzorkovanjem

- ultrazvučno uzorkovanje
- CT (računalna tomografija, computer aided tomography) X-zrake
 - (<http://www.colorado.edu/physics/2000/xray/index.html>)
 - (<http://www.colorado.edu/physics/2000/tomography/projections.html>)
 - (http://www.colorado.edu/physics/2000/tomography/auto_rib_cage.html)
 - transmisijska tomografija
 - refleksijska tomografija
 - emisijska tomografija - PET (Positron emission - ubrizgava se radioaktivni izotop), SPECT (Single photon emission, koristi gama zrake)
- MR (magnetska rezonanca, magnetic resonance imaging)
- slikani presjeci koji su odsječeni
- ostvaruje se niz poprečnih presjeka koji čine volumen, prostor volumnih elemenata
 - različita rezolucija po pojedinim osima
 - pred-obrađ: filtriranje, uzorkovanje (down-sampling), odsijecanje -16bita

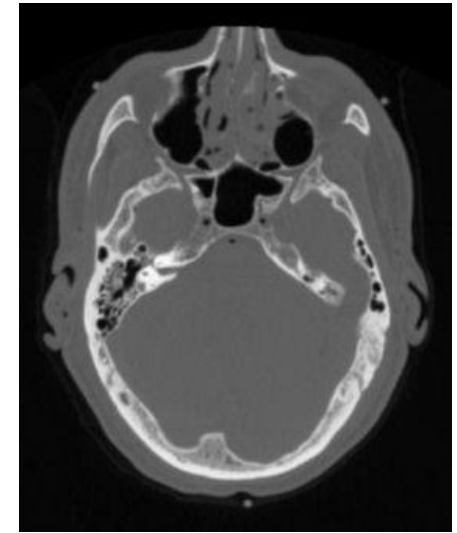
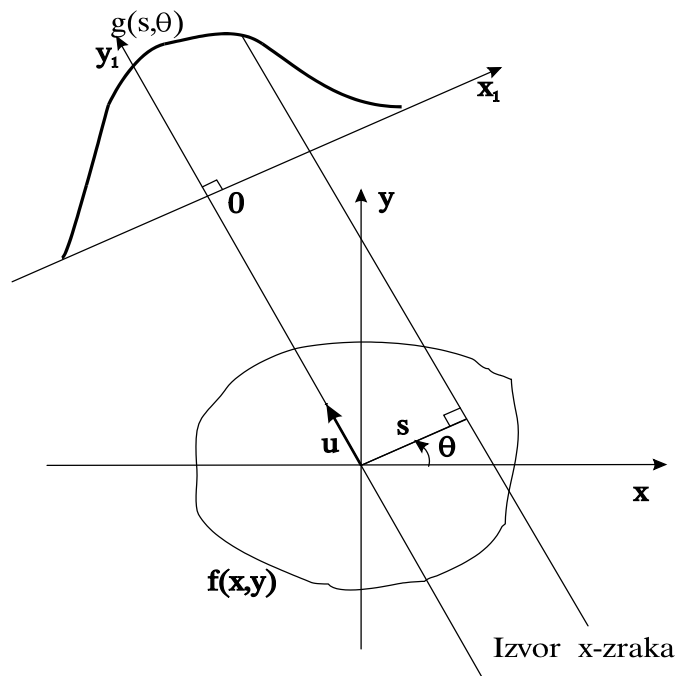
CT - računalna tomografija

- x-zrake prolaze kroz objekt – integral prolaska zrake kroz različita tkiva, zraka se eksponencijalno prigušuje prolaskom kroz tkivo <https://brainbrowser.cbrain.mcgill.ca/volume-viewer>

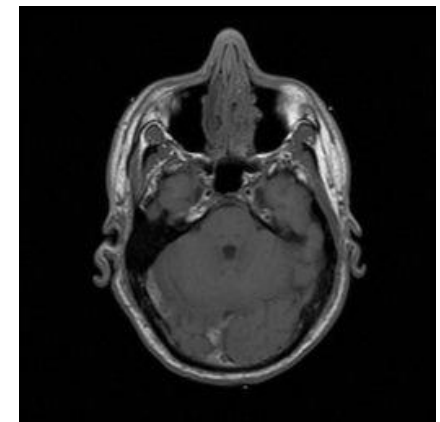
<https://brainbrowser.cbrain.mcgill.ca/surface-viewer#ct>

$$I = I_0 \exp\left(-\int \mu(x, y) ds\right)$$

- linijski izvor x-zraka
- iz puno smjerova se obavlja snimanje



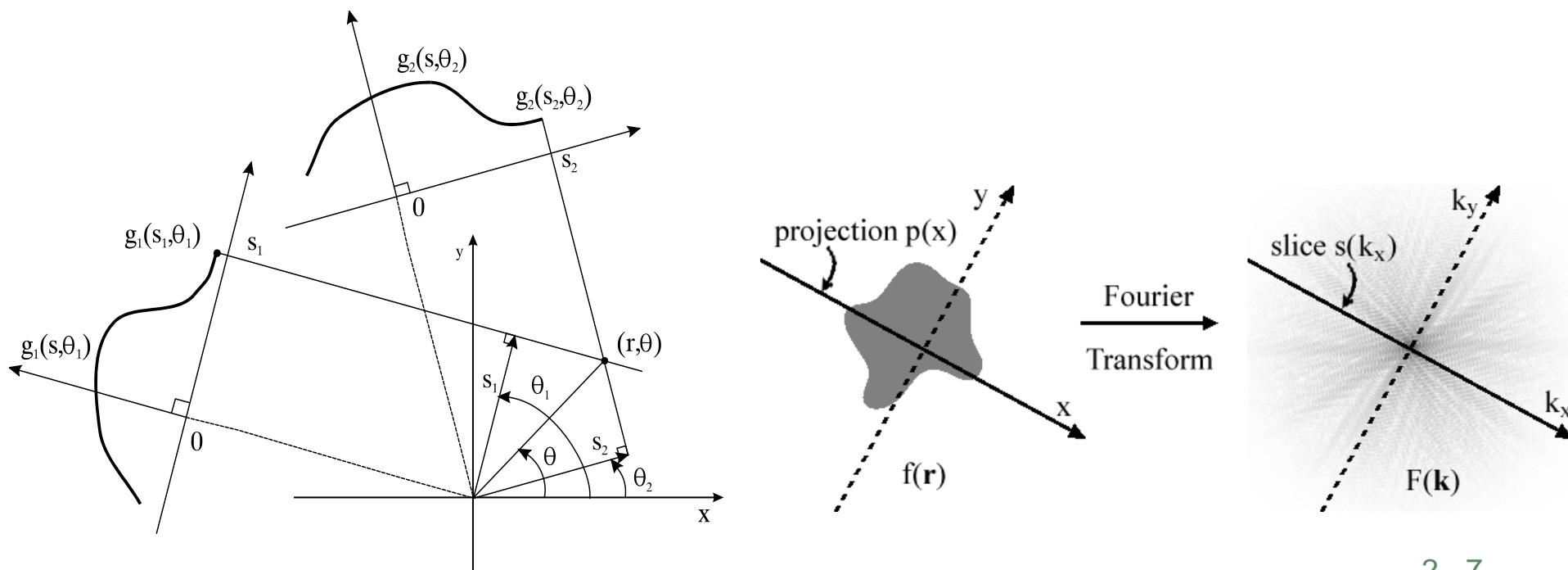
CT - računalna tomografija



MR - magnetska rezonanca

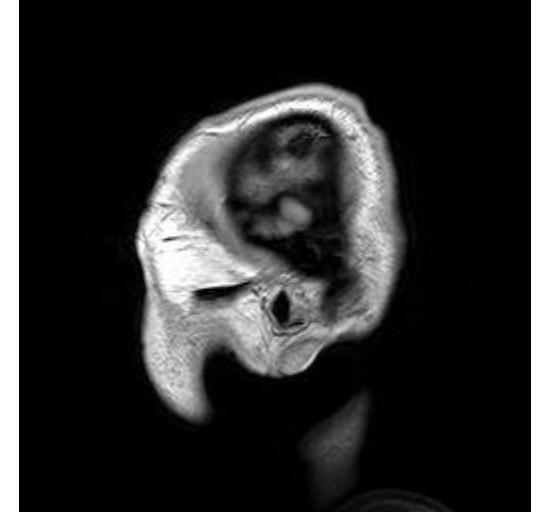
Rekonstrukcija jednog poprečnog presjeka

- Radonova transformacija (inverzna Radonova transformacija) <http://www.rabidhamster.org/java/JavaRadon.php>
 - niz sjenograma $g_i(s, \theta_i)$ za pojedini presjek \rightarrow Fourier-ova transformacija \rightarrow niz 1D presjeka iz kojih se rekonstruira pojedini 2D presjek (*projection slice theorem*)
 - različite varijanta uređaja – s pomičnim/fiksnim izvorima, spiralni CT – klizni stol
 - vremenski problem kod uzorkovanja – artefakti zbog pomicanja pacijenta, brzina \leftrightarrow veća rezolucija, šum, zračenje
 - (*dynamic volume* CT '07 - 320 presjeka)



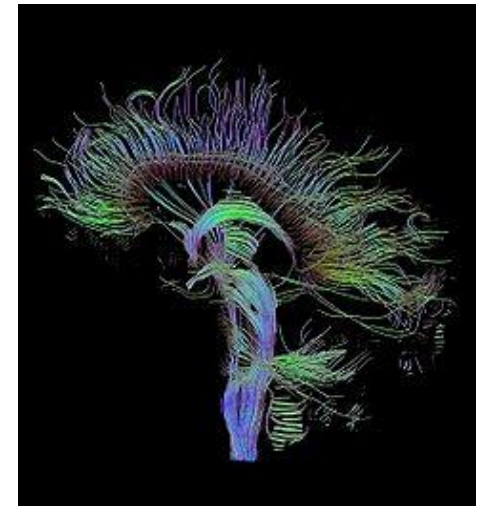
Magnetska rezonanca

- bolje razlučivanje različitih tkiva (npr. tumor)
- atomi vodika (protoni) u molekulama vode u magnetskom polju poravnavaju se s poljem i apsorbiraju energiju, kada polje ugasimo emitiraju apsorbiranu energiju
- http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Simplified_MRI
- povratak u ravnotežno stanje kod protona u različitim tkivima je različit (ubrizgavanje kontrastnih agensa kako bi se naglasio učinak – prikaz žila)



Difuzijska MR

- mjeri difuziju molekula vode u tkivu (obično je anizotropno)
- u neurološkim vlaknima (axon) molekule će biti pretežno poravnate s vlaknima što se može prikazati DTI (*diffusion tensor imaging*)
- DWI (*Diffusion-weighted imaging*) primjenjuju se gradijentni impulsi koji rezultiraju različitoj vrijednosti difuzijskog koeficijenta (*apparent diffusion coefficient ADC*) kod protona koji se miču od onih koji miruju
- moguće je odrediti povezanost različitih regija difuzijom



- za više izvora (CT, MR) potrebna je registracija podataka

b) apstraktni podaci

- vrijednosti funkcije u prostoru volumnih elemenata
 - Julijevi i Mandelbrotovi fraktalni skupovi $z_{n+1} = f(z_n, c)$,
 z_0 početna vrijednost, c kompleksna konstanta,
 f nelinearna funkcija kompleksne varijable.

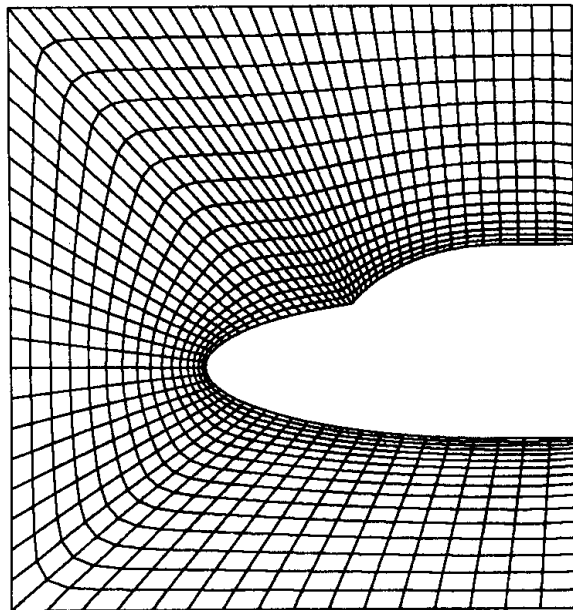
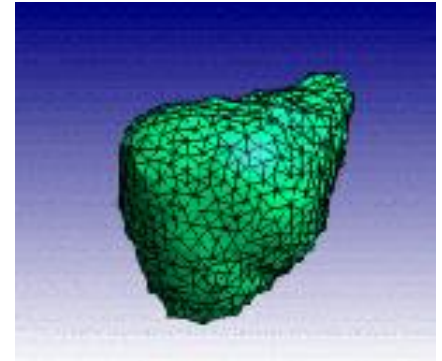
c) rezultati simulacija

- izgradimo model (npr. konačni elementi, FEM Finite Element Modelling)
- načinimo simulaciju
- prikazujemo rezultat (npr. protok fluida, CFD Computational Fluid Dynamics, elektromagnetska polja)

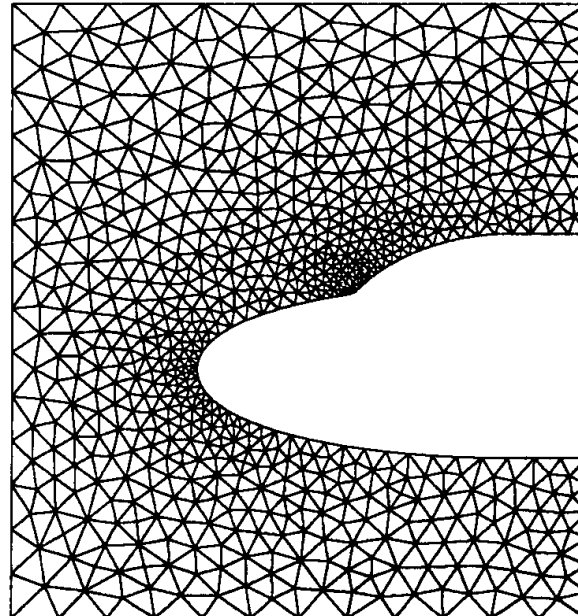
Struktura ulaznih podataka

- neravnomjerno raspršeni volumni elementi
 - geometrija podataka (raspored točaka u prostoru)
 - implicitno definirane površine
- RBF - http://oos.moxiecode.com/js_webgl/isogrid/
Metaballs <http://stemkoski.github.io/Three.js/Metaballs.html> <http://www.ro.me/tech/metaball-playground>
- topologija podataka (povezanost točaka u prostoru)
 - heksaedarske mreže
 - tetraedarske mreže
 - hibridne mreže
 - pogodan oblik za simulaciju (toplinska naprezanja, elektromagnetsko polje ..)
- jednoliko raspoređeni volumni elementi <http://lsppc30.epfl.ch/intapplet.php>
 - postupci kojima jedan oblik transformiramo u drugi (obično neuniformne mreže u jednoliko raspoređene volumne elemente)
 - postupak rasterizacije

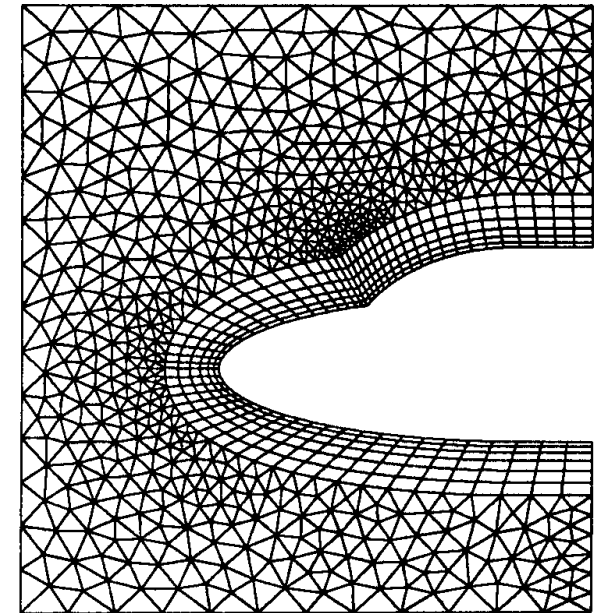
Modeli temeljeni na neuniformnim mrežama



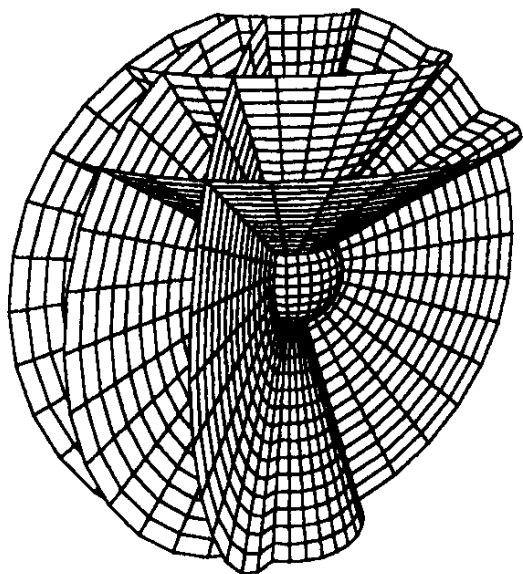
heksaedarska



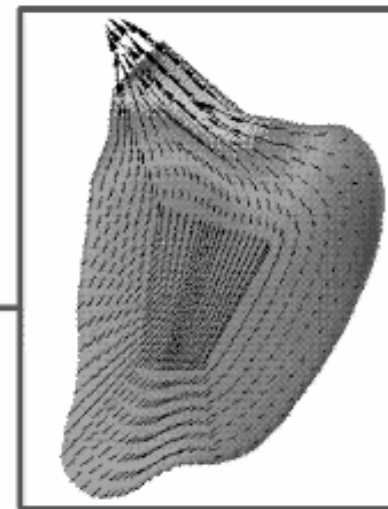
tetraedarska



hibridna mreža



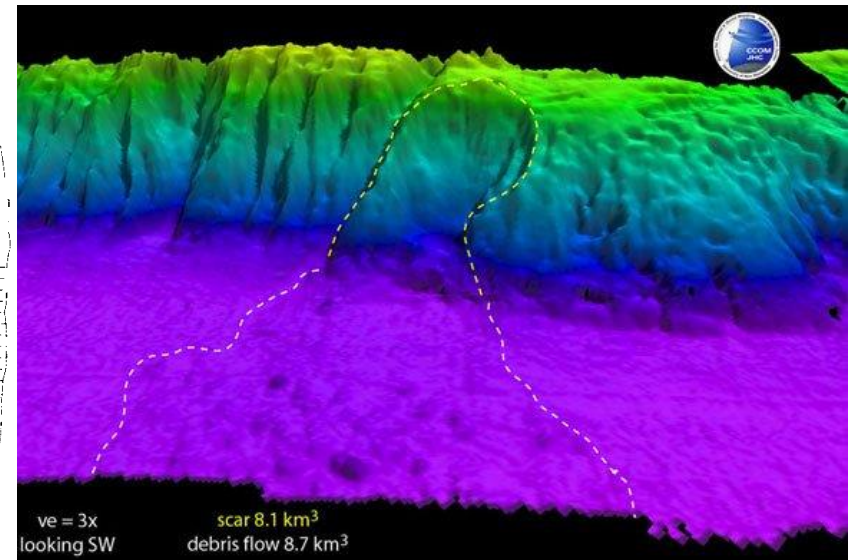
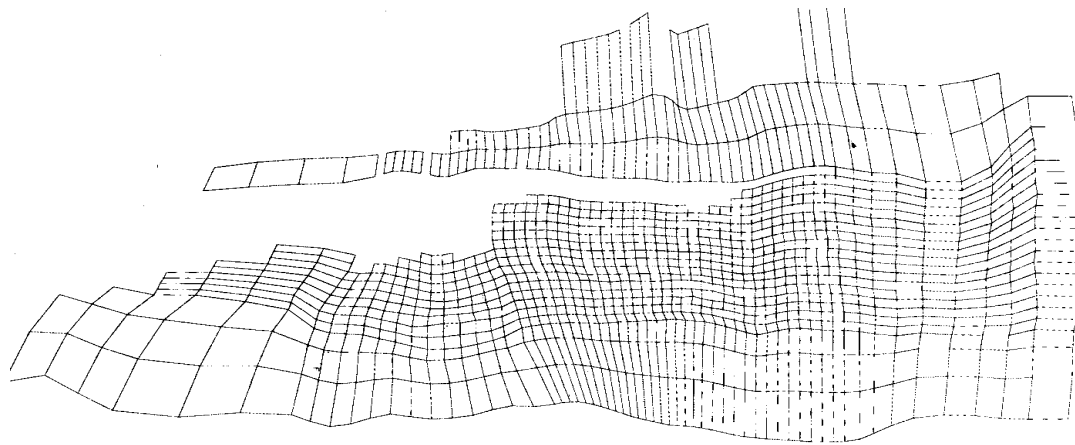
strujanje zraka (avion)



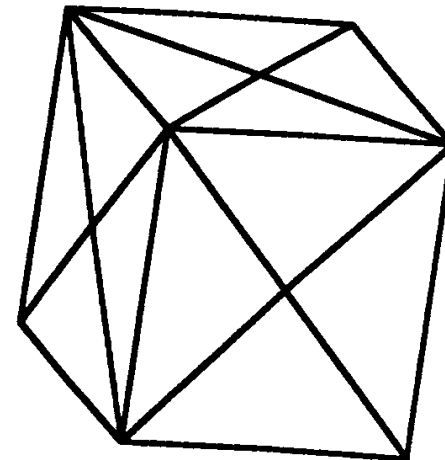
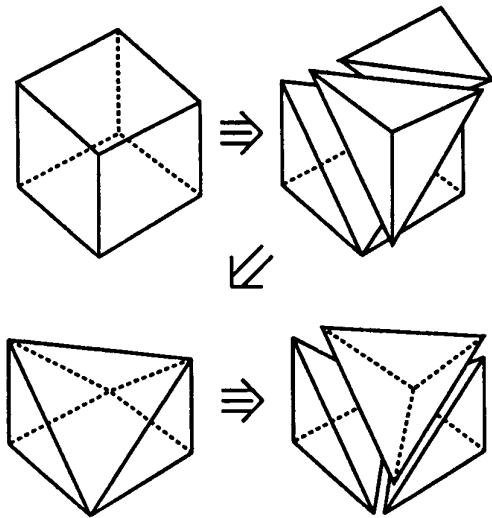
zvuk u ušnoj školjci

geološki podaci

- nalazište nafte
 - uzimanje dubinskih uzoraka
- pomaci tektonskih ploča
 - postavljanje eksploziva na niz pozicija i mikrofona (neuniformno- praćenje odaziva, zvuk se različito širi kroz različite vrste slojeva zemlje)



- dekompozicija mreže
 - dekompozicija heksaedarske ćelije na tetraedarske ćelije
 - asimetrična podjela na 5 tetraedarskih ćelija
 - simetrična podjela na 24 tetraedarskih ćelija
 - neuniformnu mrežu možemo uzorkovati kako bi mogli koristiti postupke razvijene za uniformnu raspodjelu (slično kao vektorski i rasterski pristup)

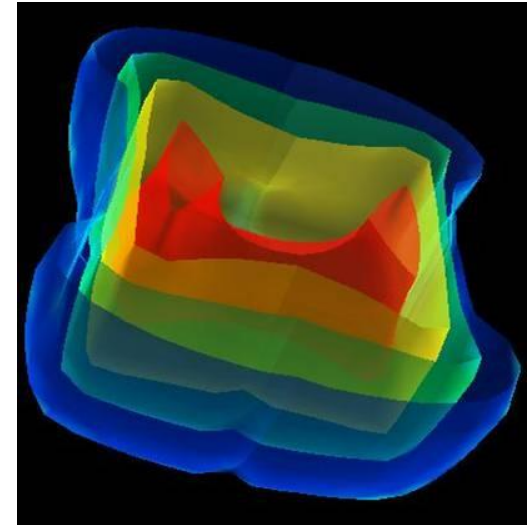


Podjela postupaka vizualizacije

- postupci temeljeni na geometrijskom modelu – izgradnja geometrijskog modela (2.2)
 - povezivanje kontura
 - prikaz kocaka
 - pokretna kocka (*marching cubes*)
- postupci temeljeni na prostoru projekcije (2.3)
 - prikaz volumena (*volume rendering*)
- postupci temeljeni na transformiranom prostoru (2.4)
 - frekvencijska domena
 - prostor valića
- kombinacija različitih pristupa
 - npr. geometrijskog modela i poprečnih presjeka
- postupci vizualizacije višedimenzijских podataka (2.5)
- neželjeni učinci u postupcima vizualizacije (2.6)

2.2 Postupci temeljeni na geometrijskom modelu

- korištenje geometrijske reprezentacije
 - povezivanje kontura
 - određivanje konture
 - problemi nejednoznačnosti
 - prikaz kocaka (eng. *cuberille model*)
 - nazubljen izgled modela
 - pokretne kocke (eng. *Marching cube*)
- cilj je dobiti poligonalni model – brzo jer možemo koristiti sklopovsku podršku za klasične postupke prikaza poligona
- geometrijskom reprezentacijom binarno dijelimo prostor na unutrašnjost i vanjštinu objekta (nemamo kontinuirani prijelaz u kontinuiranoj promjeni gustoće npr. magla) iako možemo koristiti prozirne slojeve i u geometrijskom modelu
 - problem je ako postoji šum

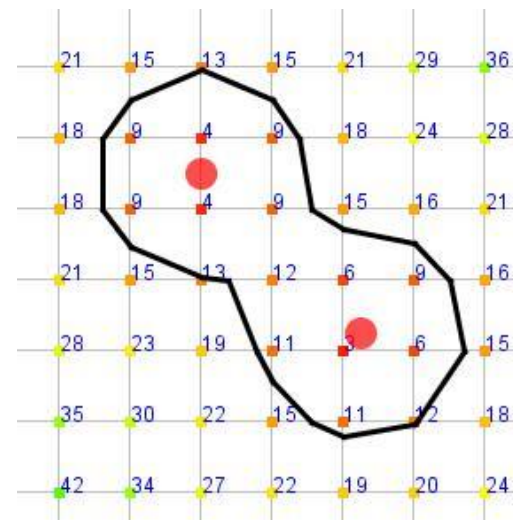
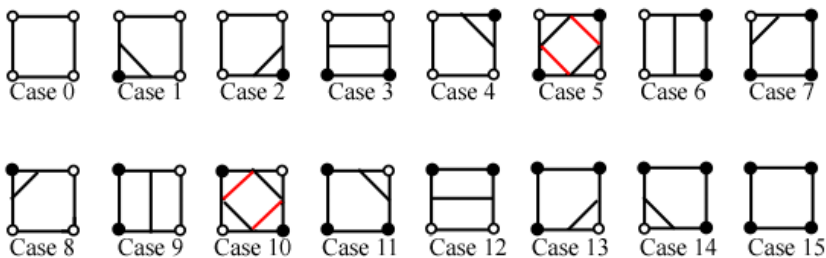


Određivanje kontura

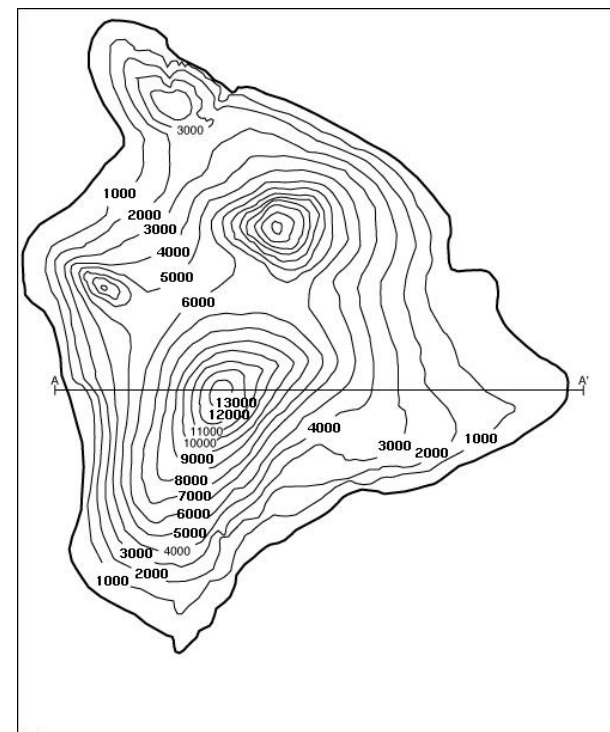
- za svaki poprečni presjek (sloj dobiven uzorkovanjem) određujemo konture odnosno izo-linije
- konturom zapravo odjeljujemo - segmentirano područje

Postupak pokretnog kvadratića (Marching Square)

- iz 2D rasterske slike određujemo “izohipse”
- mogućih $2^4=16$ slučajeva svaki od 4 vrha može biti unutar ili izvan linije
- za prikazani primjer postavljamo različite

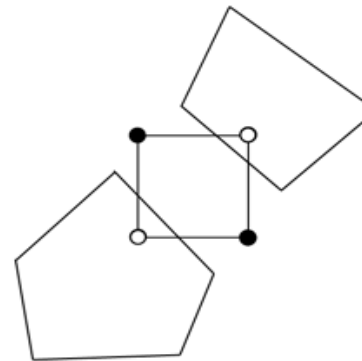


izo-vrijednost = 13

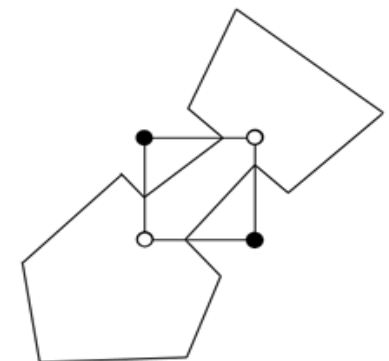


Određivanje kontura

- pri određivanju kontura moguća je pojava nejednoznačnosti
 - za problematičan slučaj imamo 2 moguća rješenja – potrebna je dodatna informacija kako bi mogli odabrati što primijeniti
 - dodatno uzorkovanje, rekurzivna podjela
 - objekti mogu biti povezani ili razdvojeni (isti problem se pojavljuje u 3D)
 - moguća pojava veznih poligona tamo gdje ih ne želimo (ili rupa u objektu)
 - u 3D to će biti slojevi objekta (ljuske – luk)
 - rezolucija mora biti dovoljno velika jer se inače više kontura može “slijepiti”
 - kod CT, MR izo-linije bi htjeli rastuće, no nije uvijek tako



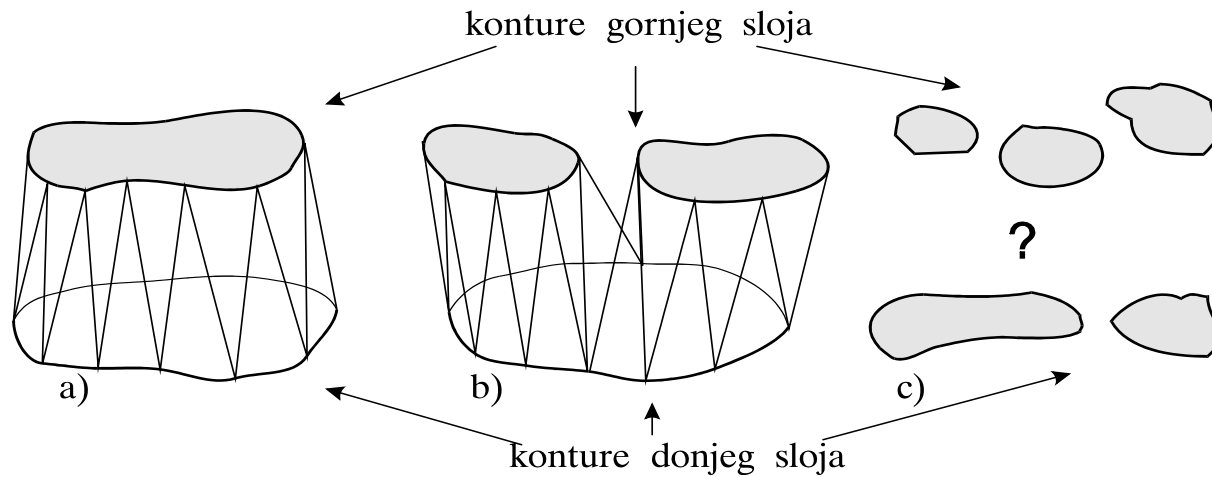
Break contour

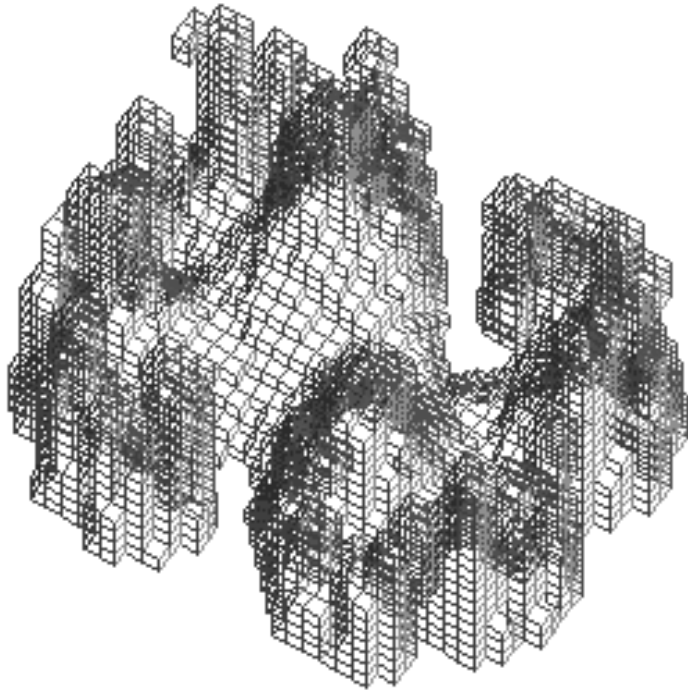


Join contour

Određivanje kontura

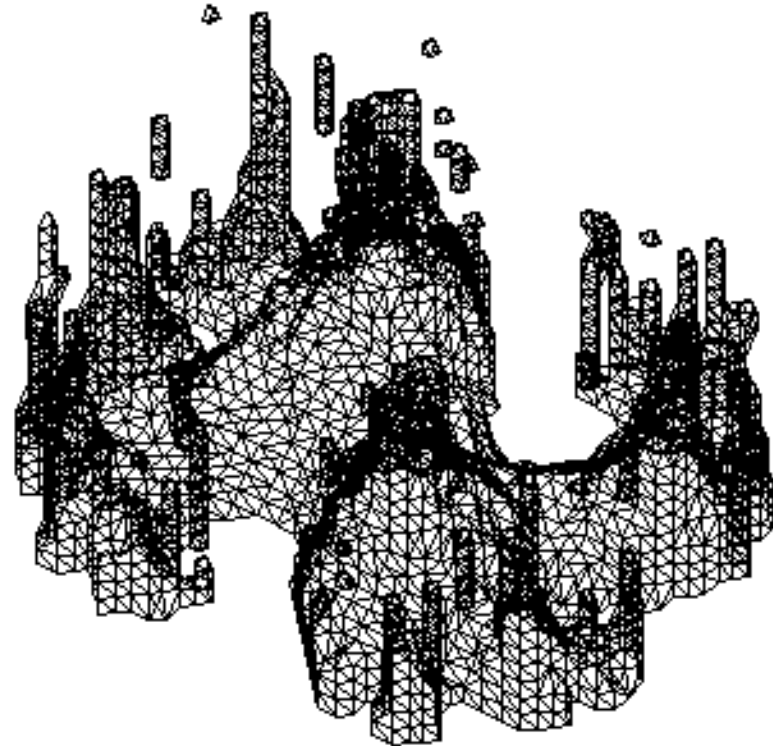
- za svaki poprečni presjek (sloj dobiven uzorkovanjem), određujemo konture i želimo povezati konture
- kod povezivanja kontura javlja se problem nejednoznačnosti
- ovaj problem možemo razmatrati u 3D ili kao niz 2D presjeka u vremenu





prikaz kockama

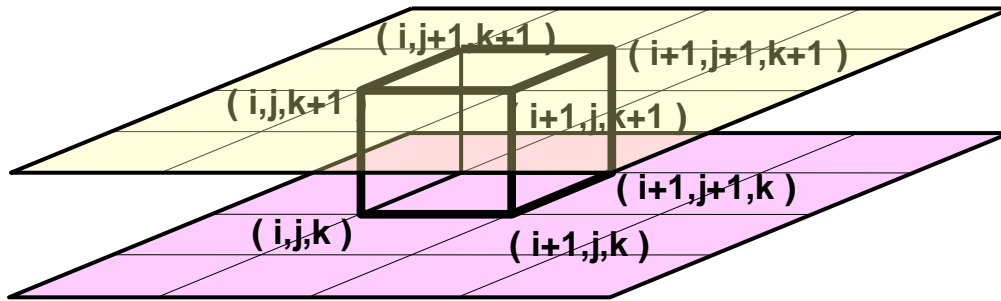
pojedini elementi volumena
prikazuju se kockama – rasterizacija
nazubljeni izgled – alias artefakti



postupak pokretne kocke

primijenjeno na fraktalni skup

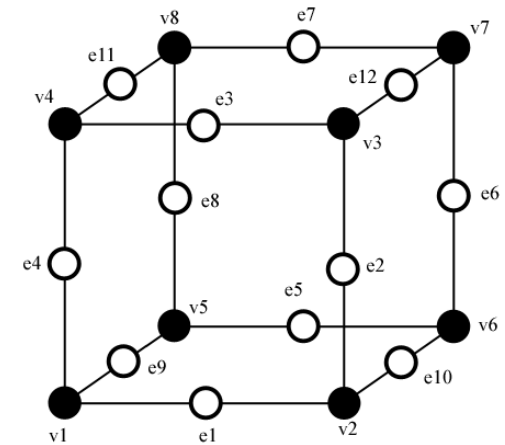
Postupak pokretne kocke (Marching cube)



Pokretna kocka u prostoru diskretnih vrijednosti elemenata volumena.

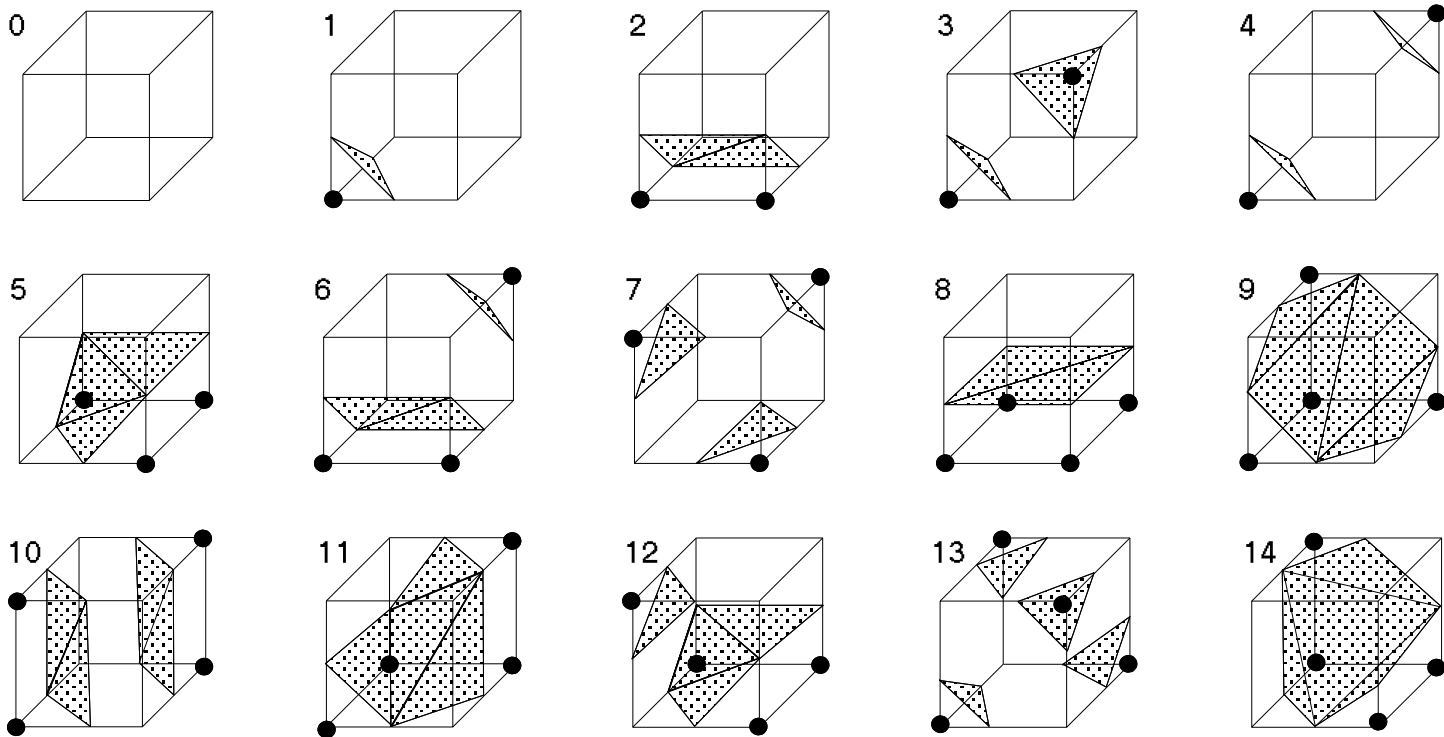
SLOJ k+1

SLOJ k



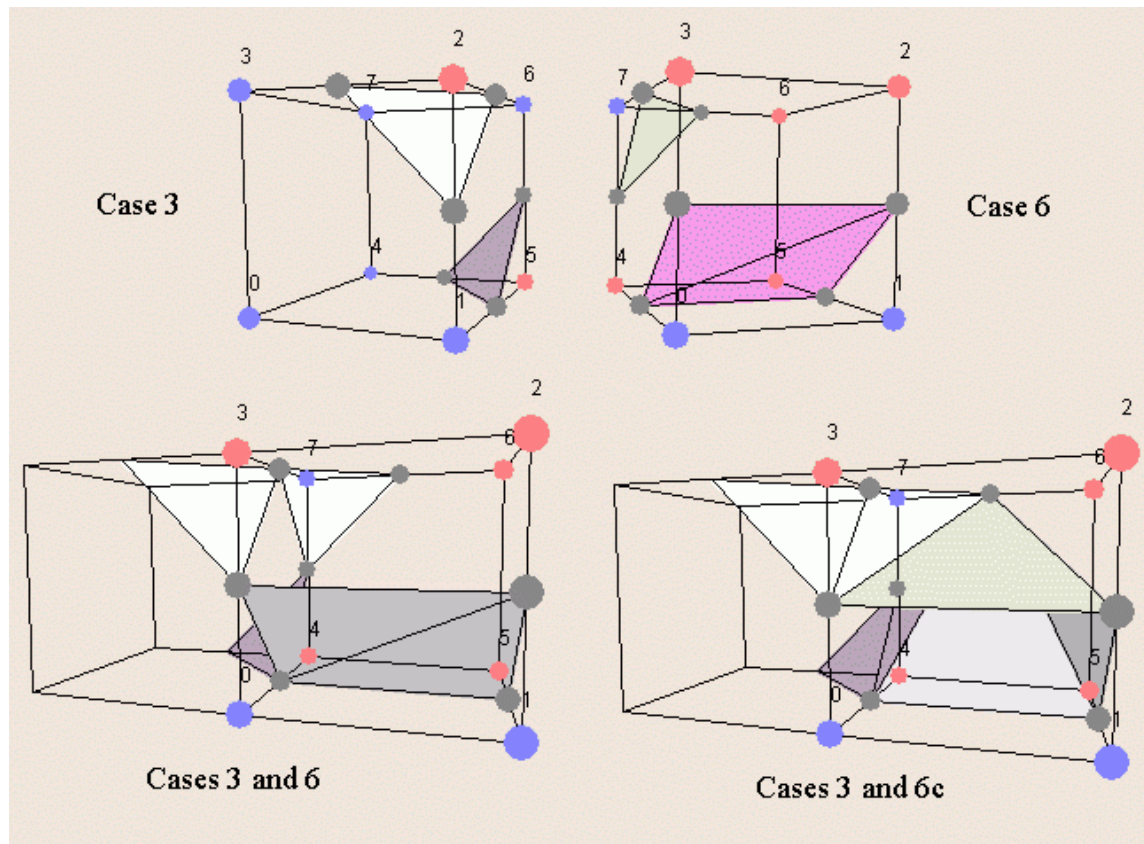
Case = v8|v7|v6|v5|v4|v3|v2|v1

- Lorensen and Cline '87
- određivanje indeksa promatranog slučaja
 - svaki vrh može biti izvan (0) ili unutar (1) objekta prema postavljenom pragu
 - ima 8 vrhova tj. $2^8=256$ mogućnosti, 1 bajt određuje indeks u tablici slučajeva, npr. 00001101 = 13 određuje da je vrh v1, v3 i v4 unutar, a poligoni vežu bridove e1, e2, e12, e11, e9, e1
 - tablica slučajeva daje konfiguraciju poligona, tako da su normale poligona prema van a interpolacija duž bridova točan položaj



Tipični slučajevi definiranja površine unutar pokretne kocke.

<http://webglsamples.org/blob/blob.html>
http://threejs.org/examples/webgl_marchingcubes.html



Problematičan slučaj kada se javljaju šupljine na objektu.

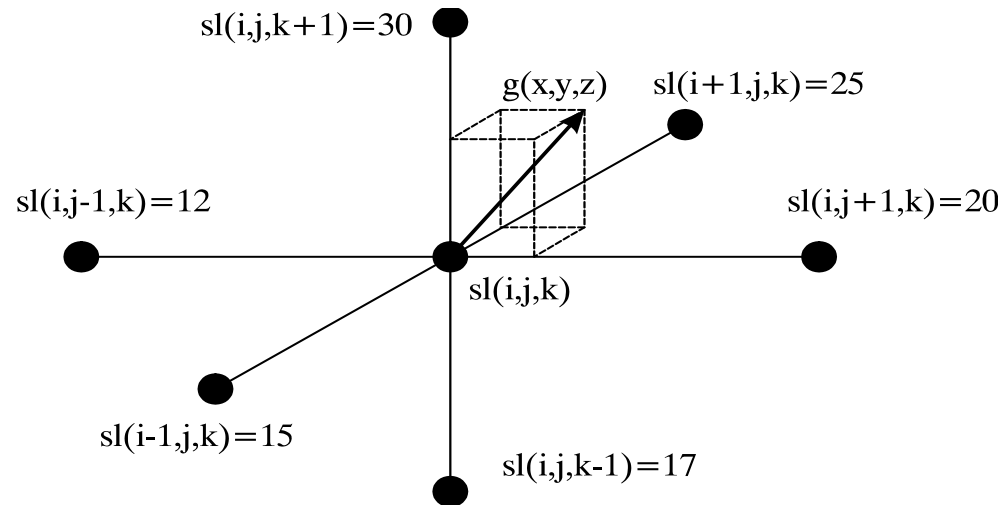
- sličan postupak je postupak pokretnih tetraedara (Marching Tetrahedrons)

Scena: <http://static.grantforrest.net/marchingcubes/index.html>

<http://www.wordsaretoys.com/demo/cubes/>

Sjenčanje geometrijskog modela

- za sjenčanje je potreban vektor normale (poligona, vrhova)
 - možemo odrediti klasično i koristiti konstanto sjenčanje, Gouraud ili Phong
- određivanje normale izravno iz volumnih podataka
 - određivanje aproksimacije lokalnog gradijenta – parcijalne derivacije za x , y , z
 - zadane točke i njihove vrijednosti određuju kontinuiranu funkciju između tih točaka, pa tako i derivaciju te funkcije (koju koristimo kao vektor normale)
 - kada znamo normale u voxel-ima interpoliramo ih da dobijemo normale u vrhovima trokutne mreže



Lokalni gradijent

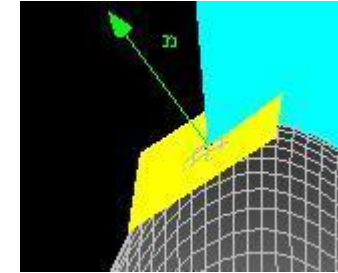
- koristimo za određivanje vektora normale

$$g(x, y, z) = \nabla f(x, y, z)$$

$$G_x(i, j, k) = \frac{sl(i+1, j, k) - sl(i-1, j, k)}{\Delta x}$$

$$G_y(i, j, k) = \frac{sl(i, j+1, k) - sl(i, j-1, k)}{\Delta y}$$

$$G_z(i, j, k) = \frac{sl(i, j, k+1) - sl(i, j, k-1)}{\Delta z}$$

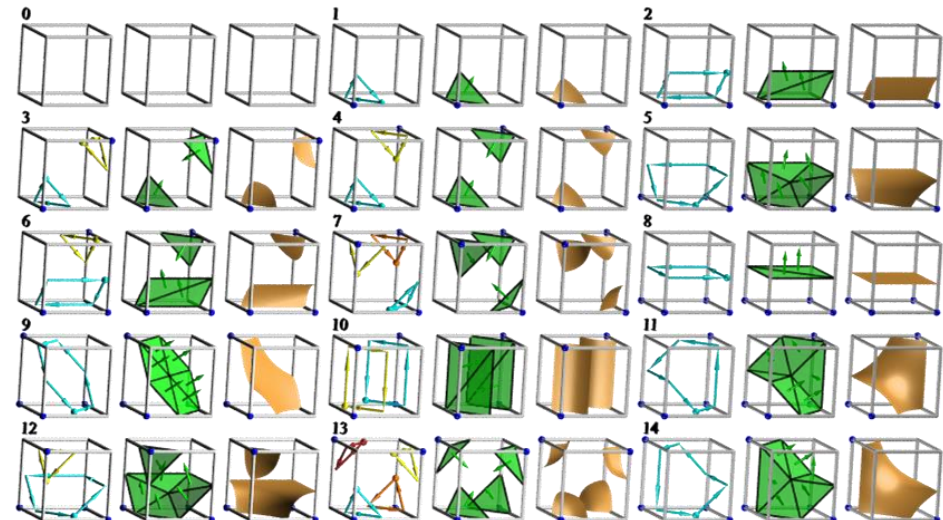


Primjeri gradijenta na 2D plohu:

<http://www.slu.edu/classes/maymk/banchoff/GradientContours.html>

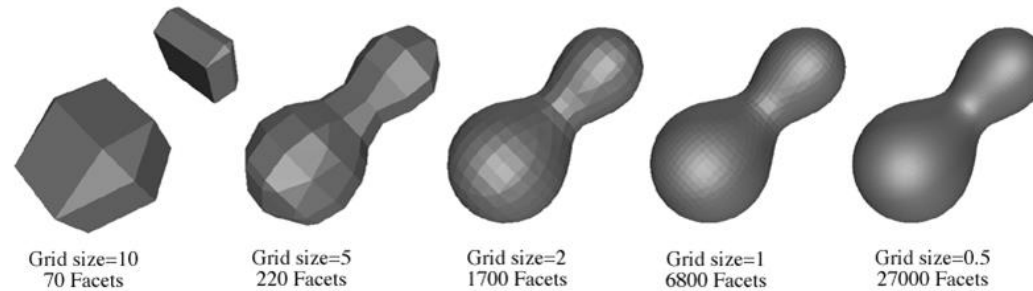
- površinu možemo rekonstruirati plohama višeg reda (ne poligonima nego kvadratnim ili kubnim krpicama)

<http://stemkoski.github.io/Three.js/Marching-Cubes.html>

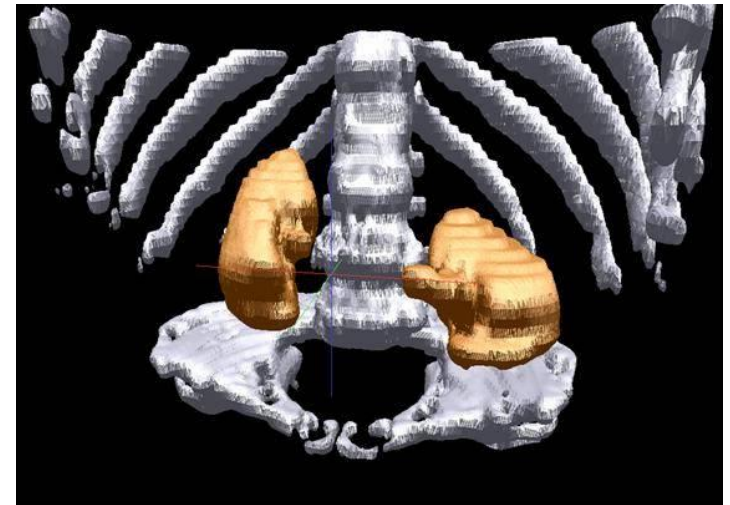


Utjecaj veličine rastera

- promjenom veličine rastera dobit ćemo različiti broj poligona i kvalitetu rekonstruirane površine (sjenčanje je konstantno)



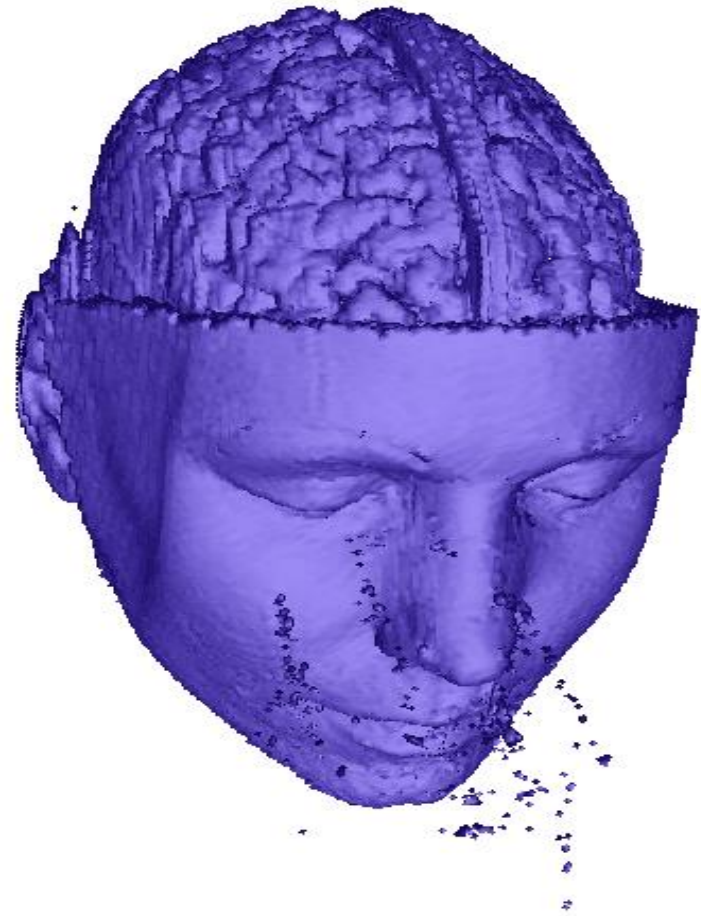
- nedovoljan broj slojeva uzrokuje pojavu terasastih područja - alias artefakti





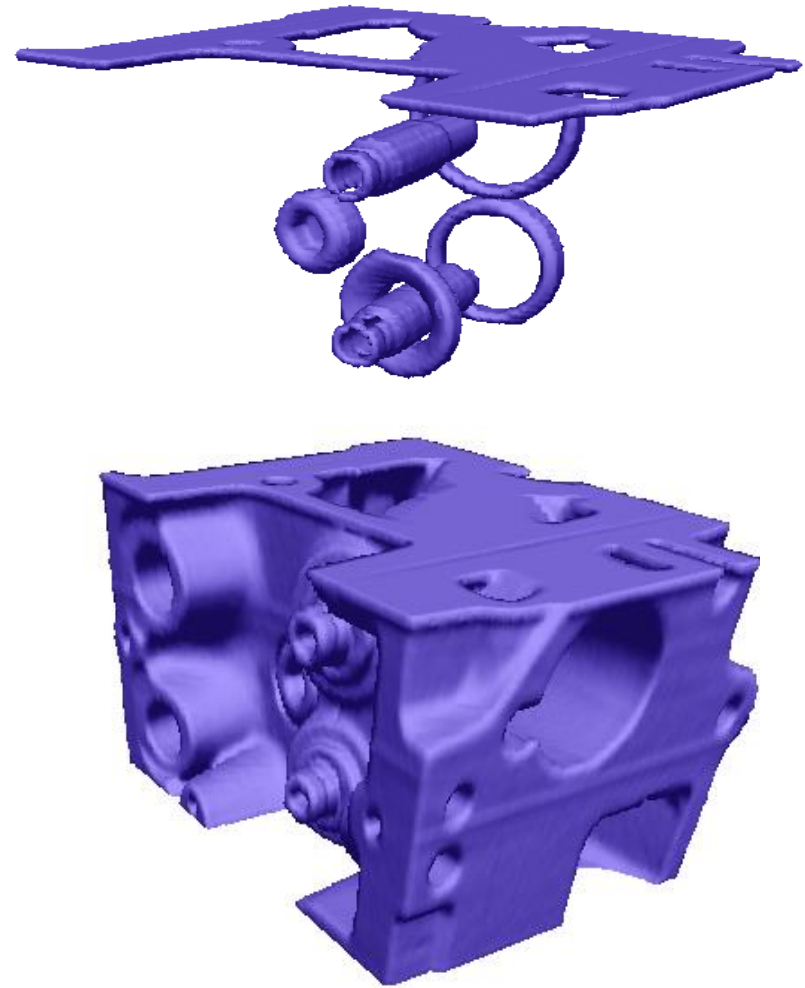
poprečni presjek

obrada u pojedinom poprečnom presjeku
(izrezivanje dijela objekta)



rekonstrukcija (pokretnom kockom)

256 x256 x100



rekonstrukcija (pokretne kocke) uz različitu vrijednost praga

[\(http://rsb.info.nih.gov/ij/applet/\)](http://rsb.info.nih.gov/ij/applet/)

[VIZ](#) VolRen\GLUTTest_gcc.exe